

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-507640

(43) 公表日 平成8年(1996)8月13日

(51) Int. Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I
H 0 1 J 49/14		9508-2G	
27/20		9508-2G	
49/40		9508-2G	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 45 頁)

(21) 出願番号	特願平6-519713
(88) (22) 出願日	平成6年(1994)3月3日
(85) 翻訳文提出日	平成7年(1995)9月4日
(86) 国際出願番号	P C T / G B 9 4 / 0 0 4 0 7
(87) 国際公開番号	W O 9 4 / 2 0 9 7 8
(87) 国際公開日	平成6年(1994)9月15日
(31) 優先権主張番号	9 3 0 4 4 6 2, 6
(32) 優先日	1993年3月4日
(33) 優先権主張国	イギリス (GB)

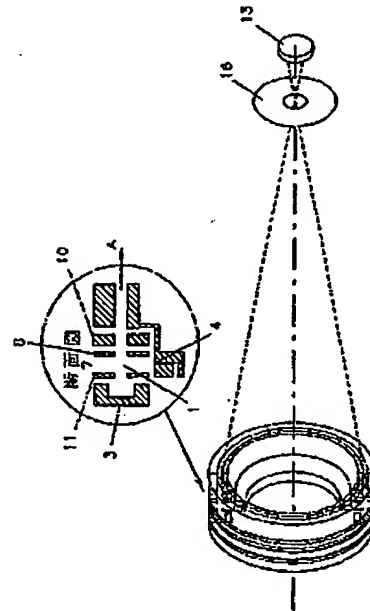
(71) 出願人	コア テクノロジー リミテッド イギリス国、シービー4 4ダブリュエフ ケンブリッジ、ミルトン ロード、サイ エンス パーク 291
(72) 発明者	マロック、ステファン、ジェームズ イギリス国、シービー4 2キューエック ス ケンブリッジ、ホーキングズ ロード 52
(74) 代理人	弁理士 石川 泰男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオン銃及びこれを使用する質量分析計

(57) 【要約】

イオン銃が、使用中、ソース平面に対して垂直な方向に、ソース周囲からイオンが抽出されるように構成された少なくとも一部が環状のイオンソース (1, 2, 3) を備えている。使用中に、前記ソースの中心軸上の位置に向かってイオンを方向付けるように構成された方向付け手段 (8, 9, 10) も設けられている。イオン銃は、単独またはイオン検出器 (13) とともに使用され、質量分析装置を提供する。



(2)

特表平8-507640

【特許請求の範囲】

1. 使用中、ソース平面に対して垂直な方向に、ソース周囲からイオンが抽出されるように構成された少なくとも一部が環状のイオンソース（1，2，3）と、
使用中に、前記ソースの中心軸上の位置に向かってイオンを方向付けるように構成された方向付け手段（8，9，10）と、
を備えているイオン銃。
2. 請求項1に記載のイオン銃と、
前記ソースの中心軸上にほぼ位置するイオン検出器（13）と、
を備えている質量分析計。
3. 前記方向付け手段（8，9，10）が、使用中にイオンを前記中心軸上の点に方向付けるための一連のリング型電極である請求項2に記載の質量分析計。
4. イオン軌道が前記中心軸と交差する位置に近接する中心軸上の位置に、円形開口部（16）をさらに備えている請求項2または3に記載の質量分析計。
5. さらに、電子反射器（15）を備えている請求項2～4のいずれか一項に記載の質量分析計。
6. 前記検出器（3）が、前記電界反射器（15）に対して前記ソースの反対側に配置されている請求項5に記載の質量分析計。
7. イオンを方向付けるための前記ソース内の中心孔を更に備えている請求項4または6に記載の質量分析計。
8. 前記ソース領域に近接して配置された1以上の円形フィラメント（2）を更に備えている請求項2～7のいずれか一項に記載の質量分析計。
9. 前記ソースからイオンが発生する方向に対してほぼ垂直に、ソースへ、中性気体を導入するための気体導入手段（4）を備えている請求項2～8のいずれか一項に記載の質量分析計。
10. 前記気体導入手段に対向してポンプ（7）を配置している請求項9に記載の質量分析計。
11. 外部で生成された正または負のイオンを前記ソースに導入するための手段（4）を更に備えている請求項2～6のいずれか一項に記載の質量分析計。

(3)

特表平8-507640

12. イオン抽出の前にイオンを保存するように前記ソースを構成している請求項2～11のいずれか一項に記載の質量分析計。

13. 前記ソースによって画成される円の接線方向へ中性子を導入するための手段を更に備え、使用中、イオン化される際に、中性子がソースラインに沿って追従し、ソース内に保存される請求項12に記載の質量分析計。

14. ソース内にイオンを保存するための手段を、ソース周囲のイオンを方向付けるための、高空間電荷の電子からなるソースによって構成する請求項12に記載の質量分析計。

15. ソース内にイオンを保存するためのイオン保存手段が、使用中、イオンを引きつける電圧に保持されている円形の案内線である請求項12に記載の質量分析計。

16. 前記イオン保存手段を、ソース領域の周囲に、無線周波数四極子型電界を供給する一連のリングで構成する請求項12に記載の質量分析計。

17. 前記ソース内のイオン保存手段を、使用中、前記ソース領域に弱静電界を供給する円筒形または環状の電極で構成する請求項12に記載の質量分析計。

18. イオンを加速領域内へ加速させ、抽出するための第1静電界を供給するソース領域と、

前記第1静電界よりも大きな第2静電界と、

少なくとも一つの電界開放飛行領域と、

電界反射器(15)と、

検出器(13)と、

を備え、前記第1静電界と平行な線上の種々の初期スタート位置からのイオンの全飛行時間が、秒単位でイオンのスタート地点に依存しないように、電界強度及び長さによって、飛行行路の領域を調整できる飛行時間質量分析計。

19. 請求項18の飛行時間補正を行う、請求項2に記載のイオン銃を備えている質量分析計。

20. 使用中、前記イオン銃からのイオンパルスを、サンプル(17)に集束さ

(4)

特表平8-507640

せるための静電レンズをさらに備え、前記サンプル面からスパッタリングされる
2次イオンが、電界反射器（15）によって、イオン検出器（13）の方向へ戻
され、2次イオン質量分析を行う請求項5に記載の質量分析計。

21. 添付図面を参照して説明したのとほぼ同様な請求項2または18に記載の
質量分析計。

(5)

特表平8-507640

【発明の詳細な説明】

イオン銃及びこれを使用する質量分析計

本発明は、イオン銃及び質量分析計に関するものである。質量分析計は、既知の気体の組成または微量汚染物質を分析する場合に多くの利点を提供するものであるが、しかし、これらは、複雑であり、高価なものと考えられていた。本発明は、比較的シンプルでコンパクトであり、質量分析計の利用分野を新しい領域にまで広げることのできる新しい設計のイオン銃及び質量分析計を提供することを目的としている。

予め気相となっていない場合にはサンプルを気化させ、その後、最終的な気体中の原子または分子をイオン化し、イオンを形成することによって、質量分析計は始動する。これらの原子または分子イオンは、その後、真空中で電界または磁界によって操作され、周囲の気体分子と衝突しないようにし、異なる質量のイオンが区別され、これらの存在量が測定できるようにしている。各元素の質量がそれぞれ異なり、固有のものであるため、最終的な「質量スペクトル」が、種々の元素の濃度によって比較的容易に解明される。分子イオンが含まれている場合、解明は困難である。その理由は、フラグメンテーションのために、単一の化合物であっても複数の質量ピークを示す場合があるからである。しかし、問題とする多くの化合物の質量スペクトルをデータベースとして備えている。特に、イオン衝撃によるイオン化と関連する質量スペクトルデータ [(NBS/EPA(USA)MSライブラリー (44,000電子衝撃質量スペクトル))] の大部分が備えられている。

例えば、赤外線分光学などの他の分析法と比較して、質量分析法は多くの利点を有している。その理由は、質量分析法が高特性であるとともに、広い範囲の組成物に対して応用できるからである。他の多くの方法とは異なり、質量分析法は、同一元素からなる種々の同位体を区別できる。これは、特に、マツツなど (G. Mats et al, Chemosphere 15(1986)p2031) によって提案された気体クロマトグラフィーなどの主要な分離方法とともに使用するのに好適である。

気体分析のための質量分析計は、一般的に、イオンソースと、質量対電荷比による分離を行う分析計と、イオン検出器とからなっている。全ての質量分析計は

(6)

特表平8-507640

、真空のチャンバーを備え、問題とするイオンの平均自由行路が、分析計内のイオンの進行行路よりもかなり長くなるようにしている。質量対電荷比にしたがって分離する方法は、様々である。また、電荷が一般的に既知であるので（例えば、一つの電子を除去）、このことは、質量による分離と同等に扱われる。多くの分析計は、所定の質量のイオンまたはそれに近いイオンのみがイオンソースから検出器に到達できるように構成し、質量フィルタとして効果的に機能する。これらの例としては、空間内のイオンを分散させるワイン (Wein) フィルタ分析計、及び磁気または静電セクタ器具があり、位置検出器、またはより一般的には質量選択開口部若しくはスリットを有している。四極子 (quadrupole) 分析計は、所定の質量対電荷比のイオンのみが安定した軌道を通り、検出器に到達できるように構成し、狭帯域通過型フィルタとしても作用する。これらのフィルタ型質量分析計を使用して、問題とする質量の範囲で検出される質量が定査されるように、電界または磁界を傾斜させることによって、質量スペクトルを生成することができる。

検出器からの信号が所定の範囲にわたって収集されると、質量スペクトルがプロットされる。明らかに、この方法を使用する場合、イオンソースに生成されたイオンのほんのわずかな量が実際に検出器に到達する。他の種類の質量分析計の場合には、主に、ソースに生成される全てのイオンを検出できる。2つの例として、イオントラップ質量分析計及び飛行時間質量分析計がある。

多くの要因が、特定目的のための特定の分析計の安定性に以下の影響を及ぼす。すなわち、許容されるエネルギー範囲及び許容される物理的なソースの大きさなどのソースに関する制約、質量のわずかな相違を分析する機能、ソースから検出器までの電子の伝達効率、検出対象となる質量の範囲、及び構成の複雑性並びにコストに影響を及ぼす。比較的小型で高価でない質量分析計が気体分析のために必要とされる場合、最も一般的には、四極子質量分析計が選択されていた（参照：P.H. Dawson and N.R. Whetton, *Advances in Electronics and Electron Physics*, Chap III p60）。四極子質量分析計は、小型の分析計を作ることができるとともに磁界または精密な開口部が不要であるが、以下の欠点を有している。

(7)

特表平8-507640

すなわち、無線周波数電源の供給が必要であり、一般的に質量範囲がどちらかという限定され、質量解析力が比較的低く、許容エネルギーがわずか数十ボルトであり、ソースの大きさが、分析計の大きさと比較してかなり小さくしなければならず、所定の質量における電子の伝達が悪く、スペクトルを生成するのに走査が必要とされる。これらの理由のために、他の構成、特に飛行時間分析計が案出された。

飛行時間質量分析計の場合、その名前が意味するように、イオンがソースから検出器に至るのに要する時間から、イオンの質量が導

き出される。通常、電子の伝達は、問題とする範囲において、質量には依存せず、したがって、走査の必要性はない。さらに、物理的に大きなソースの場合、優れた質量解析力を有し、イオンソースエネルギーの広範囲にわたって、電子の伝達効率を極めて高くすることができる。イオンのスタート地点を明確に規定するために、ソースはパルス化されなければならない。しかし、これ以外にも、残存電圧を静的なものとし、消費電力を最小にすることができる。必要な電極配置は、比較的シンプルであり、磁界は必要とされない。このため、重量、メモリへの影響、及び磁性材料と関係する非線形に関する全ての問題点を解消することができる。主に、質量範囲は、ソースからの各パルスの後に行われる実験に要する時間長によってのみ限定される。近年の飛行時間法に関する調査結果は、コター (Cotter) による分析化学 (Analytical Chemistry, 64(1992)p1027) によって提供されている。

飛行時間分析計は、商業的に入手できるが、例えば、サイエンティフィック・インストゥルメント (Scientific Instrument) のバキューム・ディビジョン (Vacuum Division)、ベンディックス (Bendix) コーポレーションなどのMA-1は、分析研究以外では広く使用されていない。これは、比較的最近まで、時間測定のために必要な電子回路が高価で、使用するのに不便だったからである。しかし、今日、超高速デジタル通信の需要が高まり、電子回路技術が、本適用に必要な速度にまで至った。

電子衝撃イオン化ソースを設計する際の目的は、提供された気体のイオン化効

(8)

特表平8-507640

率を高めること、イオンソースを効果的にポンピング (pumping) し、残存する中性気体を除去すること、及び分析計に適

合させ、生成されたイオンが検出されるとともに、所望の質量解析力を保持することである。イオンソースが残留気体分析に使用される場合、イオンソースの体積をかなり大型のものとし、かなり多くの気体原子をイオン化できるようにする。実際には、これらの種々の要件は対立するものである。特に、多数の非荷電化学種を偏えるのに十分な大きさのイオンソースを設けることは困難であるとともに、同時に、(a) 良好なイオン化を行うのに十分近接させている電子ソース、(b) 電子が効果的に分析計に伝達し、優れた質量解析力を実現できるようなす法のイオンビームを抽出するのに十分近接しているイオン抽出光学系(このことは、検出器が比較的大型でない場合には、少なくとも1つの次元で、可能ならば2つの次元でイオンビームが細くなることを示している。)、(c) 気体導入口からの中性気体原子/分子のほとんどがイオン化領域を通過するように、1つの場合、イオンソース領域に近接させている気体導入口、(d) 好ましくは、気体導入口に対向して、ソース領域付近の過剰な気体を除去するのに使用され、イオン化されていない気体が、分析計の残余領域に移動する以前にポンプで送り出されるようにしているポンピング、を得ることは困難である。

本発明は、これらの対立する要件を克服することを目的としている。

本発明によるイオン銃は、使用中、ソース平面に対して垂直な方向に、ソース周囲からイオンが抽出されるように構成された少なくとも一部が環状のイオンソース(1, 2, 3)と、使用中に、前記ソースの中心軸上の位置に向かってイオンを方向付けるように構成された方向付け手段(8, 9, 10)と、を備えている。

本発明は、イオン検出器と共に使用されるイオン化ソースの特定の配置を備え、デューティー周期が大きく、キャリアガスが排出され、ある程度のエネルギー選択が可能であるとともに、ソース内のスタート地点が異なる場合に飛行時間を簡易且つ有効に補正する新規な幾何学的構成を有する飛行時間質量分析計を提

供する。

高感度が望ましいこととは別に、気体分析器は、そこに漏入する気体を有効に利用するといった他の重要な利点がある。質量分析器は、ポンプで空気を送り出し、良好な真空状態を作り出さなければならないが、ポンプは比較的高価で、パワー不足で、且つ重い。このため、分析に必要な気体の流れを最小にすることによって、器具のコストを大きく減少させることができると共に、分析計を携帯用にするための問題点を解消できる。

飛行時間質量分析計は、検出されたイオン到着時間から飛行時間を導き出すために、基準またはスタート時間が必要とされるので、イオンソースがある種の方法でパルス化される。したがって、ソースに関する他の重要なことは、測定される飛行時間に不確実な要素が含まれてしまうことである。気体ソースの場合、イオン抽出電圧は、一般的に、分析計の各周期のスタートでパルス化される (W.C. Wiley and I.H. McLaren Rev. Sci Instrum. 参照)。次の飛行方向に沿う種々の地点で間隔をあけてスタートするイオンの飛行時間は、その質量によってというよりはむしろ、そのスタート位置によって異なり、最終的な質量スペクトルを不明瞭にしてしまう。この影響を、ある範囲に、補償することもできるが (スペース/エネルギー集束、参照)、飛行時間分析計用のイオンソースは、飛行ライ

ン方向の初期速度の広がりをも最小にしつつ、飛行ラインに沿っての寸法を比較的小さく保持できる。このため、しばしば、気体導入口を設け、初期中性子速度がイオン飛行行路に対して垂直となるようにしている (参照、T. Bergmann et al Rev. Sci Instrum. 60(1989)p792)。

他のやや重要でないことについても考慮する。ソース及び分析計を円筒形の対象構造とし、製造及び設計を容易にしている。また、多くの適用例において、分析器はコンパクトでなければならない。この要求、及び上記の時間集束に対する要求を満足させるために、しばしば、分析計に電界反射器を使用する。このため、イオンソース及び検出器を分析計の同一端部に配置しているので、衝突を避けるように配置しなければならない。

(10)

特表平8-507640

本発明の他の態様による飛行時間質量分析計は、
イオンを加速領域内へ加速させ、抽出するための第1静電界を供給するソース
領域と、

前記第1静電界よりも大きな第2静電界と、

少なくとも一つの電界開放飛行領域と、

電界反射器(15)と、

検出器(13)と、

を備え、前記第1静電界と平行な線上の種々の初期スタート位置からのイオンの
全飛行時間が、秒単位でイオンのスタート地点に依存しないように、電界強度及
び長さによって、飛行行路の領域を調整できる。

このため、 x を抽出電界に平行な線上の初期スタート地点とする

場合、 x でスタートするイオンの全飛行時間の、 x の値がゼロの時に x でスター
トするイオンの全飛行時間からの偏差を、 x のべき級数展開で表現すれば、 x の
項及び x 二乗の項は、ともにゼロとなるであろう。

一般的な電子衝撃ソースの種々の例は、既に知られているが、本発明による実
施例を以下の図面を参照して説明する。

図1は、従来の分析計のイオンソースを示すであり、

図2は、従来の電子衝撃イオンソースを示す略図であり、

図3は、従来の第2の電子衝撃イオンソースを示す略図であり、

図4は、本発明によるイオン銃に使用される環状イオンソースを示し、

図4Aは、本発明によるイオン銃を使用するシンプルな分析計を示し、

図5は、本発明に使用される2つのフィラメントを用いるイオンソースを示す
図であり、

図6は、本発明のイオン銃の他の例を示す図であり、

図6Aは、電子レンズを使用する図6の例を示す図であり、

図6Bは、本発明によるイオン銃を使用する飛行時間分析計を示す図であり、

図6Cは、2次イオン質量分析計で使用される1次イオン銃及び飛行時間分析
計としての2つの役割で使用される本発明を示す図であり、

(11)

特表平8-507640

図7は、図6Bの装置を示す他の図であり、

図8は、本発明によるイオン銃の断面を示す図であり、

図9は、残留気体及びイオンの2次ソース用の、飛行時間質量分

析計の組み合わせ構造を使用するイオン銃の例を示す図であり、

図10は、飛行時間質量分析計及びシンプル化されたソース領域と関連する問題点を説明するための図であり、

図11は、本発明の他の例に使用される飛行時間補償の例を示している。

図1は、ウィリー (Wiley) 及びマクラーレン (MacLaren) によって使用される電子衝撃イオンソースを示している。分析するためのイオンが、イオン化領域1の中心から抽出される。このイオン化領域1は、電子を供給するフィラメント2からある程度離隔している。気体ソース4は、イオン飛行ラインAに対して平行であり、質量解析力を制限し、気体を分析計(図示せず)に供給する。グリッド5は、加速領域6を規定する。イオン化領域の体積が、抽出されるビームの直径に2方向で制限される。当該ビーム直径は、分析計の遠隔端部で使用される検出器の大きさによって制限される。ここで、イオンビームの大きさは、ソースから発生するイオンビームの大きさと同様である。上記のように、イオン飛行ラインAに沿う第3方向のソースの奥行きを小さくし、分析計の質量解析力を大きくすることができる。

図2は、より大きなイオン化領域の体積を有する電子衝撃ソースを示している。ここで、電子放出フィラメント2は、イオン化領域1を中心として環状である。しかしながら、イオン化領域は、イオンビームを受信するのに使用される検出器の大きさによって制限される。大型の(したがって、より高価な)検出器を使用したとしても、イオン化領域が大きくなればなる程、電子放出フィラメント2がイオン化領域の中心から遠くなり、したがって、電子密度が弱く

なる。しかし、このイオンソースは、円筒形対称であり、有利である。

同様のソース構造が、デラーネグラ (Della-Negra(Anal. Chem. 57(1985)p.2035)) によって使用される。彼らも、分析全体にわたって、検出器の孔を介して

(12)

特表平8-507640

イオンソースからのイオンビームを電界反射器の方へ向け、当該電界反射器が、イオンビームを広げ、検出器の方へ戻す。これは、コンパクトで、対称的な設計であるが、イオン化領域の大きさが制限され、孔を有しているイオン検出器が一般的により高価であり、ビーム分散を導入しているために、ビームがソースの方へ戻るのではなく、検出器に至り、望ましくない時間分散が生じるなどの問題点がある。

特に飛行時間分析計の一つの利点は、その幾何学的構造が、かなり自由度を有していることである。このことは、分析計の出口でビームを遮断できる程検出器を大型にした場合、イオンビームを少なくとも一次元において大きくできることである。出力ビームが小さいことが理想的であるが、ソースから発生するビームを大型にできることを使用して、イオン化領域を大きくして、より高感度にすることができる。ここに開示されている発明は、これらの特徴に加えて他の特徴も備えている。

図3は、イオン化領域1の周囲を取り囲んでいる、気体導入口4、ポンピング7、及びイオン抽出光学系8、9、10を有する電子衝撃イオンソースを示している。このようなソースは、以下の周期の事象を反復的に供給することによって、飛行時間分析計またはパルス化銃で作動する。

第1段階において、ソースの後方プレート11及びイオン抽出器8を同一の電圧に保持し、イオン化領域を広く電界と無関係（電界開放）にする。この段階において、フィラメント2の電圧と電子反射電極3との電圧とによって、高温フィラメント2から発生する電子を、ソース後方プレート11の開口部12を介して、イオン化領域1に加速する。ここで、電子は、非荷電化学種と衝突し、イオンを形成する。

より短時間の第2段階において、ソース後方プレート11またはイオン抽出器8のいずれかの電圧を突然変更し、電界を生成し、イオンを、イオン化領域1から、イオン抽出器8の開口部14を介して分析計の方向へ加速する。開口部14を介して、イオンは更に加速され、指向/集束電極9、10によって集束または偏向される。

(13)

特表平8-507640

ソースの大きさは、紙面の次元に限定されているが、ソースを、図の平面に垂直な方向へ延ばすこともできる。このようなライン状のソースは、比較的大きなイオン化体積を有すると共に、上記のように、臨界寸法を小さく保持することができる。しかし、長い直線状のソースは、高価な長い検出器、またはいくつかのイオン光学系を必要とし、分析系の寸法を小さくできると共に、質量解析力を保持することができる。このことは、実際には極めて困難である。その理由は、ソースの端部から発生するイオンが、ソースの中心から発生するイオンとは全く異なる経路を移動するからである。

上記のように、本発明では、円形に曲げられた長いイオンソース、すなわち環状イオンソースを備えている。ここで、イオンビームは、

環状面に対して垂直に発生し、その後、環に対して垂直な中心軸に対して小角度だけ偏向される。図4は、これらの事項に従って、如何に簡単にイオン銃が構成されるかを示している。このイオン銃の断面が、図3のイオン銃を銃の対称軸回りに回転させたものと同様であることは明らかである。図3の構成要素と対応する構成要素には、同一の参照番号を付ける。この例において、イオンの軌道は、円錐表面に近く、このように回転対称であることは、ソースの全ての部分から発生するイオンがターゲット17に対して同様の飛行経路をたどることを示している。主に、この種のソースは、環状のソースの軸回りに回転対称に構成される任意の分析計とともに使用される。図4Aは、このソースを使用する飛行時間分析計を示している。ここでは、制御用開口部16及びイオン検出器13が加えられている。他の分析計では、円筒形状の表面、または色々な角度の円錐表面上に飛行経路を設定することが有利である。設計において共通していることは、ソースが円形環状であり、ソースの環状部に対して垂直な中心軸回りに回転対称な薄いシェル内に、飛行経路が存在していることである。

図4の構成の特に有利な点は、気体ソース4を、イオン化領域1及びポンピング7に極めて近接して配置できることである。環状入口の気体圧力を、外部の圧力低下段によって極めて低く設定することができ、分子の流れを所定の条件に適合させることができる。これらの状況下において、（図平面内において）比較的

(14)

特表平8-507640

狭い範囲の角度にわたって速度が変化するように、中性気体分子がソースに発生する。このことは2つの利点を有している。まず第1に、次のイオン飛行ラインAに沿う中性分子の速度成分が小さく、優れた質量解析力を比較的容易に実現できる。第2に、イオン化及び抽出されて

いないほとんど全ての中性分子は、ソースを通り、ポンピング開口部7に直接進み、分析計には到達しない。ポンピングが極めて効率的で、中性分子が再発生する比率がほんのわずかであるため、特にイオン出口としての小開口部を設けることなく、ソース領域と分析計の残余領域との間で、実有効圧力（または中性粒子メンバー密度）微分が求められる。

図3のソース断面が、環状とするのに有効な唯一の幾何学的な構造でないことは明らかである。例えば、図5は、真空チャンバー内で残留気体解析に使用される電子放出フィラメント2を2個有しているソース断面を示している。また、環状配置の利点は、所定の部材、この場合にはフィラメント2をイオン化領域1に極めて近接して配置できると共に、同時に、ソースを長くし、イオン化領域の体積をより大きくすると共に、分析計内のある後方地点で小直径に収束するイオンビームを設けることができることである。他の多くの変形が可能であり、これらは当業者にとって明らかである。

図6～6Cは、環状ソースイオン銃の他の例を示す略断面図である。この場合、(リフレクトロン (reflectron) として知られている) 電界反射器を使用して、イオンをソースの方向へ戻し、本発明を用いる分析計を更にコンパクトにするとともに、同時に、時間集束を実現できる（以下参照）。

図6は、質量が既知のイオンでサンプル17に衝撃を与えるのに使用される本発明の環状ソースイオン銃を示している。図6Aは、図6と同様の構成であるが、イオンをサンプル17に集束させるのに使用される電界レンズ18を備えている。

図6Bは、本発明を用いる質量分析計を示している。ここで、反射器15は、質量が既知のイオンをイオン検出器13の方向へ向ける。図6Cの装置は、レン

(15)

特表平8-507640

ズ18によって集められる、サンプル17からスパッタリングされるイオンを分析するための検出器を更に備えていることを除いて、図6Aの装置と同様であり、電子を装置内へ向け、その後、反射器15によって検出器13の方向へ向ける。このため、装置は、1次イオンのパルス化ソース、及び2次イオンの質量分析計としての飛行時間質量分析計として機能する。

上記のように、ソースと、分析計の同一端部にターゲット17または検出器13を備えていることによって生じる問題点を、環状のソースが簡単に解決できることは明らかである。反射器15から戻るイオンは、環状ソースの中心を通り、検出器13へ向かう。検出器13を、分析計の外側付近に配置することもできる。この場合の幾何学的制約は殆どなく、アクセスも容易である。図7は、図6Bの配置を示す他の図であり、3次元で形状をより明確に示している。この図7では、分析計部分が省略されており、軌道が内側に示されている。

場合によっては、環状ソースの全体積が必要とされるわけではない。これらの場合、複数のより小型のソースを環の回りに配置する。このような配置は、1つのソースが故障した場合に簡単なスイッチを用いてスペアを使用できるので、信頼性の点で有利である。代案として、色々なソースからの複数の気体ソースを、殆ど相互汚染の心配なく、分析することができる。

慣用の飛行時間質量分析計の一つの潜在的な欠点は、ソースがパルス化されなければならないために、そのデューティサイクルが短くなる傾向にあることである。このことは、唯一の問題点である。ここでは、分析対象となる物質が連続的な流れで供給され、この場合、流れの一部が欠落し、分析感度を低下させてしまう。ソース内に発生するイオンを、その次のイオンが分析計の各サイクルを開始させるパルスを抽出するまで、ソース内に留まらせることができる場合、イオンを検出できる。電子衝撃気体分析計の一例において、気体の流れの速度は、 300 m/s のオーダーである。このため、(短いイオン抽出段階とは逆に)サイクル中の電子衝撃段階の間、ソース領域が比較的電界と無関係であり、且つ反復速度が 100 kHz であると仮定する場合、イオン抽出パルス直後で、次のイオン抽出パルスの前に発生するイオンは、 $10\text{ }\mu\text{S} \times 300\text{ m/s} = 3\text{ mm}$ 移動する

(15)

特表平8-507640

。気体流方向へ少なくとも3 mmの奥行きを有する領域からイオンを効率的に抽出できるようにイオン抽出光学系を構成すると、全てのサンプルストリーム (stream) が使用される可能性がある。

上記例は、实际的であるが、どちらかというとその反復速度が早く、そのソースの寸法は、依然としてかなり大きい。大きな質量を試験、または、より長い飛行チューブを使用するためには、ソース領域の電界を任意にしていることとは対照的に、精密イオン保存機構の形態から、より長い周期が有利である。場合によっては、このことは、ソースの幾何学的構造が好適な場合は特に、単に、電子ビームの空間電荷と関連する弱い静電界を設けることによって実現される。このことは、環状の構造によってより容易に実現される。代案としての方法は、無線周波数電圧を、ソース領域を取り囲んでい

る4つのリング9, 10に供給し、円形に曲げられたRF (無線周波数) 四極子を構成するものである。この方法は、ある程度の大きな初期エネルギーを有しているイオンを電位的に限定することができる。問題とする全ての質量の軌道が安定し、環状ソースの周囲を比較的ゆっくりとドリフトするように、RF電界を選択する。イオン抽出段階においては、RF電界は、オフに切り替えられる。

イオン保存の第3の方法は、細い導電線を、ソース領域の中心の、環状ソースの周囲に設けることができる。電圧を導電線に供給し、その方向へイオンを引きつけ、イオンをソース領域内に保持できるようにする。このように「案内線」を設けることは、既に知られている (参照: Oakley and R.D. Macfarlane, Nuclear Instrum. and Methods 49(1967)p220)。

イオン保存の第4の方法は、イオン化領域の周囲に円筒状または環状の電極を使用して、弱静電界を生成するものである。

保存特性を改善するために、イオンまたは中性子をリングの接線方向へ、B方向へ注入することが有利である。その後、初期粒子速度を、初めにソースの長手方向に沿って設定し、イオン捕獲機構は、比較的緩やかな曲線を初期速度に重畳し、無限にイオンを電位的に保存する。このことは、例えば、誘導結合高周波数プラズマソースなどの (温度エネルギーに対して) 比較的活動的なイオンの連続

(17)

特表平8-507640

的ソースに、分析計をインターフェイスさせるために特に使用される。

また、図4A及び7において、円形開口部16を設けていることに着目すると、環状ソースの大きな利点は、拡張されたソースから

イオンの軌跡が集束されることである。この点において、開口部によって、質量及びエネルギーを選択することができる。ソースからのイオンは、適正な電圧が指向／集束リング電極9、10にかけられている場合、開口部のみを通過し（図3参照）、イオンは、所定のエネルギー範囲及びスタート位置に落ちつく。この範囲を調整することによって、開口部により、感度をある程度犠牲にして、分析計の質量解析力を増大させることができる。この幾何学的構造の感度は既にかなり高いので、このような代償は、余り問題とならず、有益である。

飛行時間質量分析計の場合、リング状偏向電極10の電圧が短時間適正な電圧値から外れてパルス化されたとしても、ある程度の解析力が保持される。このようにするために、イオンが偏向器に到達する時間だけ、イオンが空間内に広がり、偏向電極の短時間パルスがある限定された範囲の質量にのみ影響を及ぼすようにしている。このことは、ソースとは別に、分析計の下方に取り付けられた第2の偏向リングセットを必要とする。この場合、種々の質量のイオンの空間的な広がり、ある程度大きい。特定の質量を排除することが有効な例としては、問題とするサンプル成分が多量のキャリアーガス内に含まれている場合である。この場合、キャリアーガス信号を排除することによって、検出器の寿命を延ばすことができるとともに、データシステムが、問題としないデータの処理に時間を費やさないようにしている。第2の例としては、問題とする質量範囲を越える重いイオンを排除するものがあり、この場合、これを排除しなければ、次の分析周期の開始後、問題とする質量範囲を越える重いイオンが検出され、その後、データシステムによって、光イオンとして認識される。

所定の応用例の場合、単一の分析計によって、2以上の物質ソース、例えば、固体表面からスパッタリングされたイオン（SIMS）及び真空システム内の残留気体を分析することが好ましい。この場合、環の一部に沿って電子衝撃ソースを構

(18)

特表平8-507640

成することがより好ましく、慣用の抽出光学系を介して収集されるイオンビームを導入するためのギャップを設けている。図9は、このようなSIMS及び残留気体分析のための組み合わせ的な幾何学的配置の一例を示している。SIMSイオンは、1次イオン銃（図示せず）、及び分析計に直接注入されるナロー（細い）ビーム19を形成するのに使用されるSIMS抽出光学系18をパルス化することによって、パルス化される。いずれかの図に示すような反射構造を用い、いずれかのソースの動作に適合するように分析計を再調整し、各ケース毎に、最高の質量解析力を呈するような反射電圧を操作する。

飛行時間質量分析計の場合、検出されたイオンの質量は、所定の基準時間に対する、イオンが検出器に到達する時間から導き出される。質量を正確に測定するためには、到着時間が質量以外のもの、例えばソース内のスタート位置または分析計内のエネルギーに依存することは望ましくない。図3に示すソースに関する電位の問題点は、イオン抽出電界がオンされた際、ソース内の種々の位置における同一質量のイオンが、種々のエネルギーを必要とし、ソースからスタートする際の速度が異なることである。したがって、これらのイオンは、その飛行時間がそれぞれ異なり、同時に検出器に到達しない。

図10は、イオン抽出器が平面グリッドの場合の簡易なソース領

域の問題点を示しており、等電位面は、すべて平面であり、ソースの電位は、単に、飛行ラインに沿っての位置の線形関数である。図10の上半分は、飛行時間測定スタート点における、電圧 V_{ex} の平面を中心とする様々なイオンの存在し得る位置を示している。図10の下半分は、ソース領域における電圧分散を示している。ここで、これらの電圧は、分析計の電界開放領域の電位に関するものである。スタート時間は、以下の(a)または(b)のいずれかによって決定される。すなわち、

(a) 抽出電界がオンされる時点

ソース後方プレート及びイオン抽出器プレートは、スタート時間より前においては同一電圧である。スタート時間において、いずれか一方のプレートの電圧を突然切り替え、図に示す電位傾斜を発生させる。

(19)

特表平8-507640

または

(b) 図に示す静的電界傾斜内にイオンが生成される時点

この場合、全てのイオンは、レーザ光のパルスによる、例えば光イオン化によって、ショートパルスで生成される。

によって決定される。

図10の下半分において、各イオンは、スタート位置に依存する電位エネルギー eV (ここで、 e は電荷を示している。) を有している。飛行ラインに沿う様々なスタート位置からの各イオンが、種々の速度及び時点で、抽出領域から発生することは、明らかである。正確な表現は、添付書類Aに示めされている。

ウィリー及びマクラレンは、以下のように配置された分離抽出領域及び加速領域を有する配置を考え出した。すなわち、検出器を正しい位置に配置すると、種々の位置からスタートするイオンがソースから発生するのにかかる時間は、イオンが得る種々の速度によって主に補正される。ソースの後方プレート付近でスタートするイオンは、イオン抽出器プレート付近でスタートするややエネルギーの少ないイオンより遅く発生するが、これらに追いつく。このような配置は、幾何学的な制約に問題があり、1次補正のみを行い、気体ソースのみに応用できる。

イオンエネルギーが異なる場合の飛行時間を補正するために考え出された他の方法は、マミリン (Mamylin et al(Sov. Phys. JETP37(1973)P45)) などによって案出された。電界反射器を、イオン飛行経路の一部に使用する。より高いエネルギーを有するイオンは、分析計の電界開放領域を交差する時間がより短い、更に反射電界を貫通するため、反射器内により長い時間滞在する。2つの相反する効果は、好適に設計することによってほぼ相殺される。マミリンによって提案された設計では、異なる電界強度からなる2つの領域を有し、イオンエネルギーが相違する場合に、飛行時間を2次補正できる。この方法は、気体ソース、及び例えば、固体サンプルから1次イオンビームによって生成される2次イオン (SIMS) などの全てのイオンが一平面からスタートするソースに適用することができる。

(20)

特表平8-507640

マミリン段の前段に、スペース集束のためのウィリー・マクラレン型のソースを使用して2つの方法を結合させ、そのソース平面

がウィリー・マクラレン段の1次時間集束位置に存在するように最適化することが提案された。このようなシステムは、1次補正を行うことができるが、しかし、「二重分析器」の概念は、分析的には優れているとはいえず、スタート位置が異なることに對する2次補正を行う機会がない。

ここに開示されている本発明の第2の態様によれば、電界開放領域を有する分離抽出及び加速段と、単一の傾斜電界反射器とを有する飛行時間分析計を備え、ソース内のスタート位置に對する飛行時間の2次補正を行う。このような設計では、電界反射器を、マミリン型よりもシンプルな設計とし、その傾斜（スロープ）をただ一つにすることができる点で有利である。簡単な例を、図11に示す。

必要な電圧及び距離に關する論理的な制約を分析するのに、仮想的なソースを使用しない。その理由は、このようなソースが、1次補正のみを行うからである。その代わりに、分析計の4つの領域（抽出、加速、ドリフト及び反射）における飛行時間が、飛行エネルギーの関数として直接書きとられ、スタート位置を変化させることによって求められ、全飛行時間の関数が提供される。その後、この関数の飛行エネルギーに對する第1及び第2微分を、電圧及び寸法を好適に選択することによってゼロとし、検出器で2次時間集束を発生させる。

添付書類Aは、図11にラベル付けされた各領域の飛行時間に對して与えられる表現：すなわち、抽出領域（長さ L_6 ）、加速領域（長さ L_7 ）、ドリフト領域（長さ L_1 ）及び反射空間を用いて、数学的な処理を行っている。各表現は、イオンスタート位置における

電位 V の関数として記述される（図10も参照）。例を簡単にするため、イオンが速度ゼロでスタートするものと仮定する。実際に、このようにすることは、しばしば好適な近似であり、したがって十分であるが、スタート位置に對してスタート速度が対称的に変化する場合には、このことが考慮される。次に、全飛行時間が、各段階にかかる時間の総和として記述される。 V を変化させた場合の、こ

(21)

特表平8-507640

の全時間の変化を最小にするために、第1及び第2微分を行い、これをゼロにする。2つの変数を調整して、満足される2つの方程式が与えられる。実際には、物理的な寸法は固定されているので、2つの調整可能な変数を、イオン抽出器プレートに電圧 V_1 、及び電界反射器の電界強度 E_{ref} とする。方程式による分析法は混乱するため、これらを数字で解くと便利である。添付書類Aは、寸法及び公称飛行エネルギーを実際に選択することに基づくこのような解決方法を示している。最終的に、この解決方法に基づき、いくつかの電界強度を示し、値が妥当であることをチェックする。また、イオンの飛行エネルギーに対して全飛行時間をプロットし、公称飛行エネルギーにおいて不変なポイントを示す。

この時間補正法は、電子衝撃ソースに限らず、任意の空間的な興行きを有するソースに対して適用可能である。他の好適な例としては、レーザービームによって気体相中の中性子をイオン化することによってイオンが生成される飛行時間質量分析計が挙げられる。2次集束を行うことによって、比較的興行きのあるレーザービームの場合であっても、優れた質量解析が可能であり、このことは、イオンスタート位置の範囲が広いことを示している。

(22)

特表平8-507640

添付書類A

図11に、電極の物理的レイアウト及び寸法を示している。図10は、抽出領域を更に詳細に示し、特に、補正の必要のある種々のスタート位置を示している。

各イオンの電荷は： $e = 1.60217733 \cdot 10^{-19}$ であり、

また、質量は、 m である。1ダルトン(amu)は、 $m_1 = 1.6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ に値する。

従って、例えば、窒素分子 N_2 の質量は、 $m = 28 \cdot m_1$ である。

ドリフト空間

シンプルな電界開放ドリフト空間の場合、イオンの公称エネルギーは $e \cdot V$ であり、速度は V である。

$$\frac{1}{2} m \cdot V^2 = e \cdot V \quad \text{且つ} \quad r_f = \frac{L_f}{V}$$

従って、所要時間は：

$$r_f = L_f \cdot \sqrt{\frac{m}{2 \cdot e \cdot V}} = \frac{L_f}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V}}$$

によって、与えられる。

反射空間

反射領域における所要時間は、速度：

$$\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}}$$

からの停止時間の2倍であり、

$$v = \frac{e \cdot E_{ref}}{m} \quad \text{を用いて}$$

$$r_2 = \frac{2 \cdot v}{a} = \frac{2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}}}{\frac{e \cdot E_{ref}}{m}} = \frac{2}{E_{ref}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V}$$

となる。

抽出領域

ソース領域において、任意の初速度を無視すると、

$$a = \frac{e \cdot (V_{ex} - V_f)}{m \cdot L_6} \quad \text{で、停止スタートして、}$$

出口速度に到達するのに要する時間は、 $\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot (V - V_f)}{m}}$ である。

$$r_0 = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot e}{m}} \cdot \sqrt{V - V_f}}{\frac{e \cdot (V_{ex} - V_f)}{m \cdot L_6}} = \frac{L_6}{(V_{ex} - V_f)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V - V_f}$$

(23)

特表平8-507640

時間束束解析

数値により解析して、長さ及び電圧を算出する

ドリフト 抽出 加速 公称エネルギー

$$L_1 = 0.33 \quad L_6 = 0.002 \quad L_7 = 0.010 \quad V_{ex} = 2000 \quad V = 2000$$

$$V_1 = 1800 \quad E_{ref} = \frac{5000}{.05} \quad \text{を推定する}$$

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{6} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{0 \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} + \frac{\sqrt{2}}{(\sqrt{0} \cdot \sqrt{V})} \cdot \frac{\sqrt{m}}{E_{ref}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{0} \cdot \sqrt{V - V_1} \right]} \dots = 0 \\ & + \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{0}} \left[\frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V})} - \frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V - V_1})} \right] \end{aligned}$$

且つ

$$\begin{aligned} & \frac{3}{8} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{0 \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\left[\sqrt{0 \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \cdot \frac{\sqrt{m}}{E_{ref}} - \frac{1}{4} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{0 \cdot (V - V_1)} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \dots = 0 \\ & + \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{0}} \left[\frac{-1}{4 \cdot V \left(\frac{3}{2} \right)} + \frac{1}{4 \cdot (V - V_1) \left(\frac{3}{2} \right)} \right] \end{aligned}$$

と仮定する。

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ E_{ref} \end{pmatrix} = \text{Find}(V_1, E_{ref})$$

上記方程式を数値によって解くと、

$$V_1 = 1813.233$$

$$E_{ref} = 33339.073$$

(24)

特表平8-507640

加速領域

加速領域におけるスタート速度は、前記のように：

$$\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot (V - V_f)}{m}}$$

によって与えられる。

加速度を $\frac{e \cdot V_f}{m \cdot L_f}$ とすると、出口速度は $\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}}$ である。

従って、その時間は、

$$T_f = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}} - \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot (V - V_f)}{m}}}{\frac{e \cdot V_f}{m \cdot L_f}} = \frac{L_f}{V_f} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot (\sqrt{V} - \sqrt{V - V_f})$$

全飛行時間

全飛行時間は、以下の和によって与えられる。

$$\left[\frac{L_1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \frac{1}{\sqrt{V}} + \frac{2}{E_{ref}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V} + \frac{L_6}{(V_{ex} - V_f)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V - V_f} \right] + \frac{L_7}{V_f} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot (\sqrt{V} - \sqrt{V - V_f})$$

ソース内の種々の位置からスタートすることに与えられる飛行エネルギーに対する全時間の第1微分は、

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{4} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{e \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} + \frac{\sqrt{2}}{(\sqrt{e \cdot V}) E_{ref}} \cdot \frac{\sqrt{m}}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_f)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left(\sqrt{e \cdot (V - V_f)} \right)} \dots \\ & + \frac{L_7}{V_f} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{e}} \left[\frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V})} - \frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V - V_f})} \right] \end{aligned}$$

であり、第2微分は、

$$\begin{aligned} & \frac{3}{8} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{e \cdot V} \left(\frac{5}{2} \right) \right]} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\left[\sqrt{e \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \cdot \frac{\sqrt{m}}{E_{ref}} + \frac{1}{4} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_f)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{e \cdot (V - V_f)} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \dots \\ & + \frac{L_7}{V_f} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{e}} \left[\frac{-1}{4 \cdot V \left(\frac{3}{2} \right)} + \frac{1}{4 \cdot (V - V_f) \left(\frac{3}{2} \right)} \right] \end{aligned}$$

である。

(25)

特表平8-507640

例示

抽出領域の電界強度 $E_d = \frac{V_{ex} - V_f}{L_d \cdot 1000} \quad E_d = 93.383 \quad \text{V/mm}$

実際に用いられる
リフレクトロンの奥行き $\frac{V}{E_{ref}} \cdot 1000 = 59.92 \quad \text{mm}$

抽出領域の電界強度 $\frac{V_{ex} - V_f}{L_d \cdot 1000} = 93.383 \quad \text{V/mm}$

加速領域 $\frac{V_f}{L_f \cdot 1000} = 181.323 \quad \text{V/mm}$

ソース後方プレートとイオン抽出器電極との間隔を $L_{ex} = .005$ とすると、
(図10参照)

電界が線形なので、
必要な抽出パルスは：
 $V_p = \frac{L_{ex}}{L_d} (V_{ex} - V_f)$ から得られる。
例えば、 $V_p = 467 \quad \text{V}$ である。

全時間は：

$$T_f(V) = \frac{L_f}{2} \cdot \sqrt{\frac{2m}{e}} \cdot \frac{1}{V} + \frac{2}{E_{ref}} \cdot \sqrt{\frac{2m}{e}} \cdot \sqrt{V} + \frac{L_d}{(V_{ex} - V_f)} \cdot \sqrt{\frac{2m}{e}} \cdot \sqrt{V - V_f} + \frac{L_f}{V_f} \cdot \sqrt{\frac{2m}{e}} \cdot (\sqrt{V} - \sqrt{V - V_f})$$

によって与えられる。

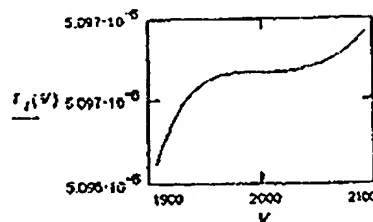
全飛行時間は、 $T_f(V) = 5.097 \cdot 10^{-6}$ である。

$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}}$ であるので、有効行路長は、 $T_f(V) \cdot v = 0.598$
によって与えられる。

points = 50

$$V_{min} = V_{ex} - (V_{ex} - V_f) \cdot \frac{.001}{L_d} \quad V_{max} = V_{ex} + (V_{ex} - V_f) \cdot \frac{.001}{L_d}$$

$$V_{step} = \frac{V_{max} - V_{min}}{\text{points}} \quad V = V_{min} + (V_{min} + V_{step}) \cdot V_{max}$$



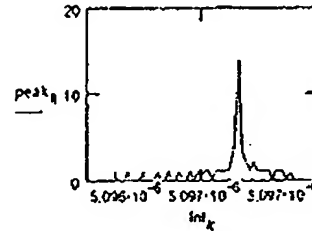
(26)

特表平8-507640

 $j = 1, 2 \dots \text{points} - 1 \quad k = 1, 2 \dots \text{points}$

$t_j = T_H \{V_{\min} + V_{\text{step}} \cdot (j - 1)\}$ 擬似ピークの基底となる時間値の集合
 エネルギーレンジにわたって偶数分布であると仮定する

$$\text{int}_j = T_H(V_{\min}) + (j - 1) \cdot \frac{T_H(V_{\max}) - T_H(V_{\min})}{\text{points}}$$

 $\text{peak} = \text{hist}(\text{int}, 1)$


方法 1 によって計算された解析力

$$t_{\text{res}} = \frac{1}{2.35} \cdot \frac{\text{mean}(t)}{\text{stdev}(t)} \quad \text{質量解析力: } m_{\text{res}} = \frac{l_{\text{res}}}{2} \quad m_{\text{res}} = 6697.881$$

方法 2 によって計算された解析力

$$\text{ハーフピークの高さ } h = \frac{\max(\text{peak})}{2} \quad k = 1, 2 \dots \text{points} - 1$$

$$V_k = \text{until}[-((\text{peak}_k \leq h) \cdot (\text{peak}_{k+1} \geq h)), k] \quad n = \text{last}(V) \quad n = 34$$

$$T_{\text{low}} = \left[\text{peak}_n + \text{peak}_{n+1} \cdot \text{int}_n + (\text{int}_{n+1} - \text{int}_n) \cdot \frac{h - \text{peak}_n}{\text{peak}_{n+1} - \text{peak}_n} \cdot \text{int}_n \right] \\ T_{\text{low}} = 5.097 \cdot 10^{-6}$$

$$V_k = \text{until}[-((\text{peak}_k \geq h) \cdot (\text{peak}_{k+1} \leq h)), k] \quad n = \text{last}(V) \quad n = 35$$

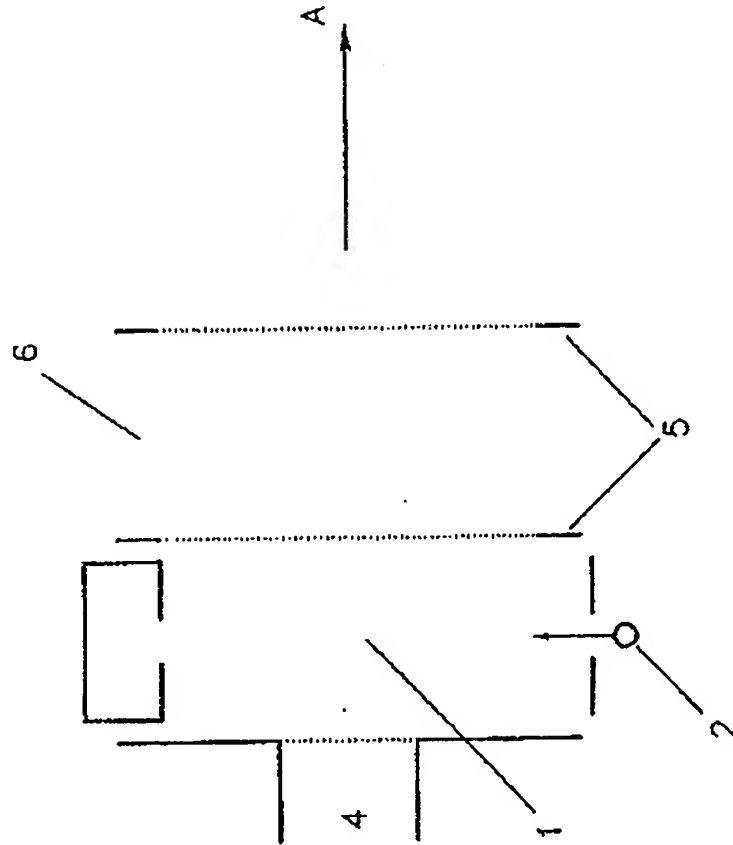
$$T_{\text{high}} = \left[\text{peak}_n + \text{peak}_{n+1} \cdot \text{int}_n + (\text{int}_{n+1} - \text{int}_n) \cdot \frac{h - \text{peak}_n}{\text{peak}_{n+1} - \text{peak}_n} \cdot \text{int}_n \right] \\ T_{\text{high}} = 5.097 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{\text{res}} = \frac{T_{\text{high}}}{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}} \quad M_{\text{res}} = \frac{T_{\text{res}}}{2} \quad M_{\text{res}} = 1.187 \cdot 10^5$$

(27)

特表平8-507640

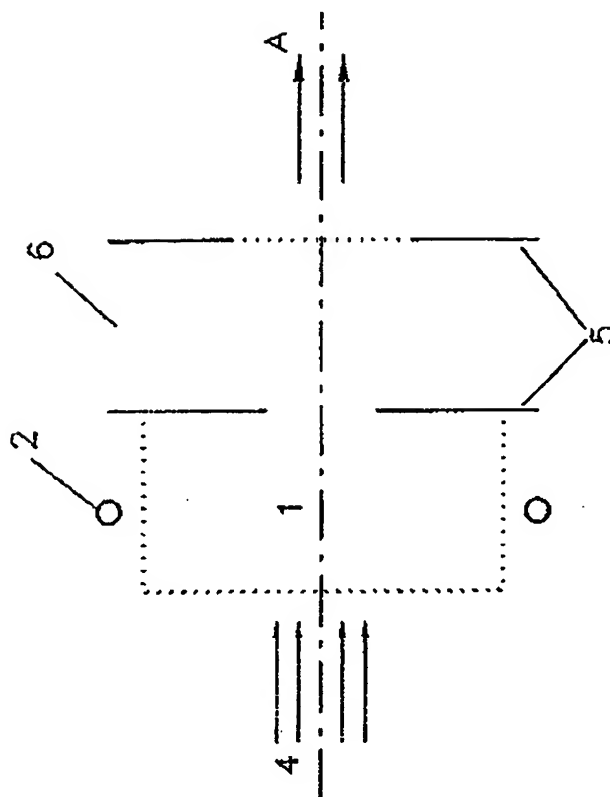
【図1】



(28)

特表平8-507640

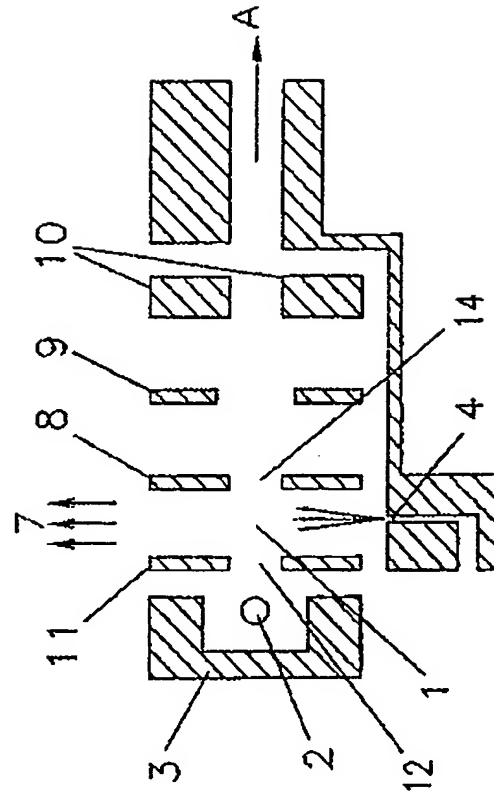
【図2】



(29)

特表平8-507640

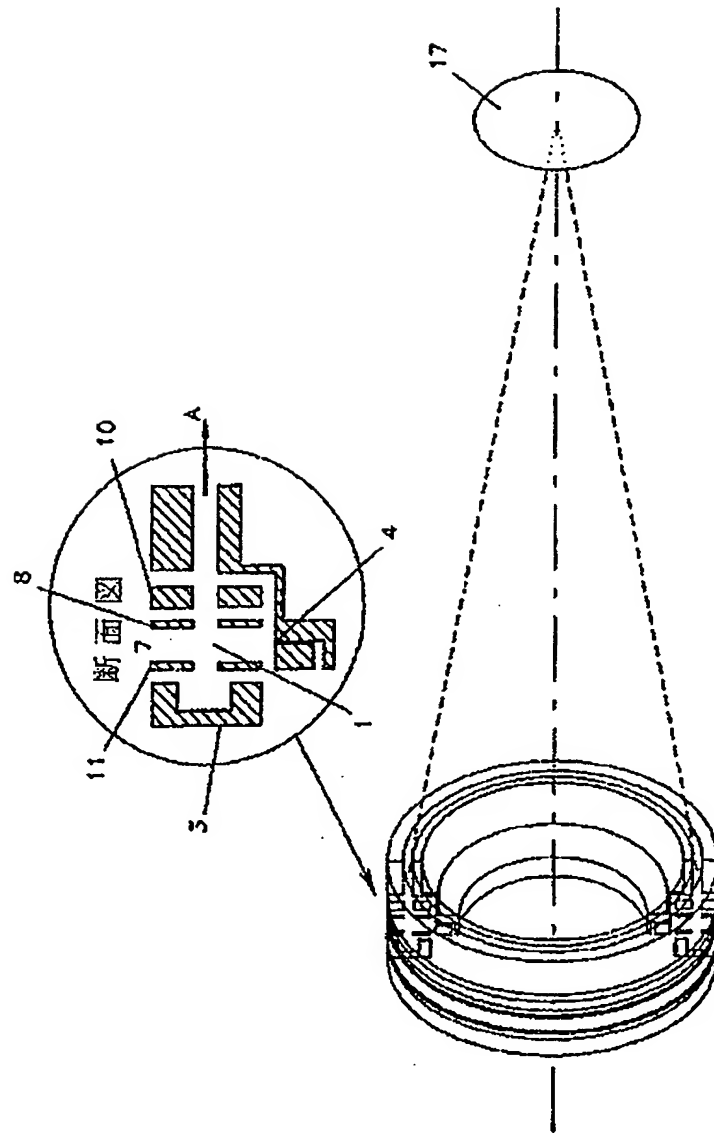
【図3】



(30)

特表平8-507640

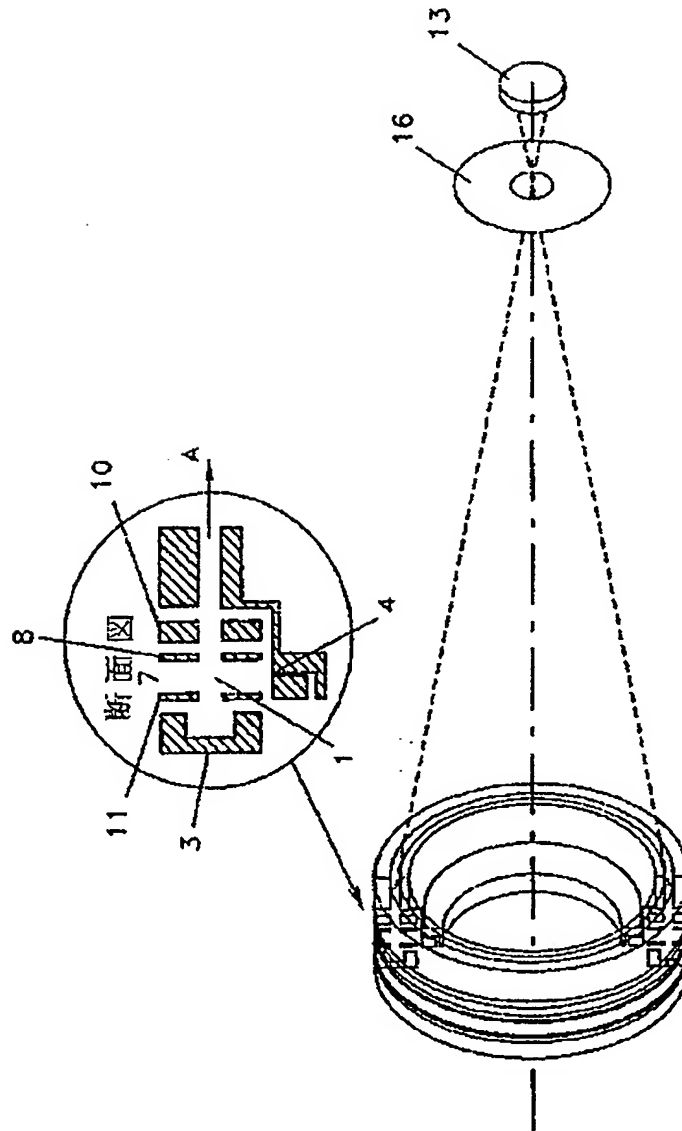
【図4】



(31)

特表平8-507640

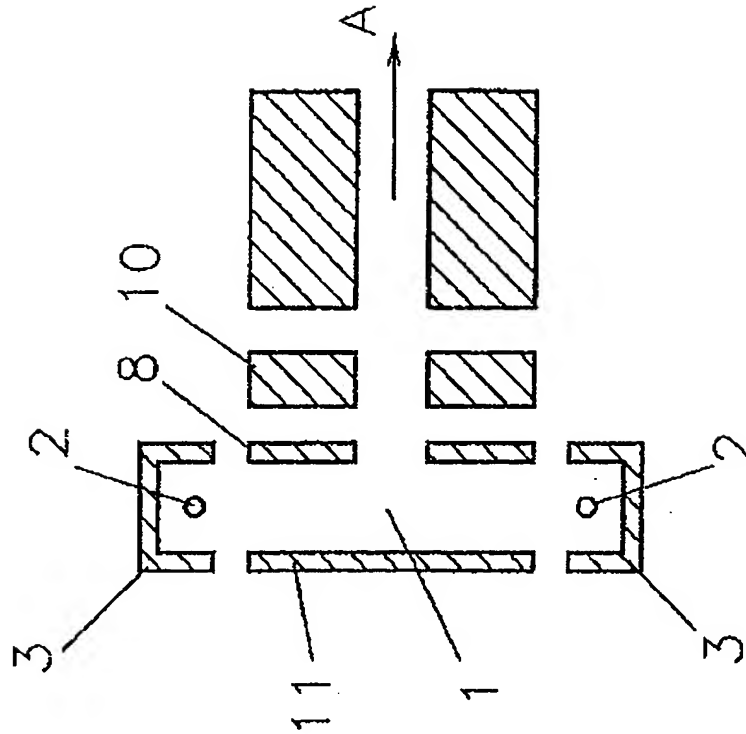
【図4A】



(32)

特表平8-507640

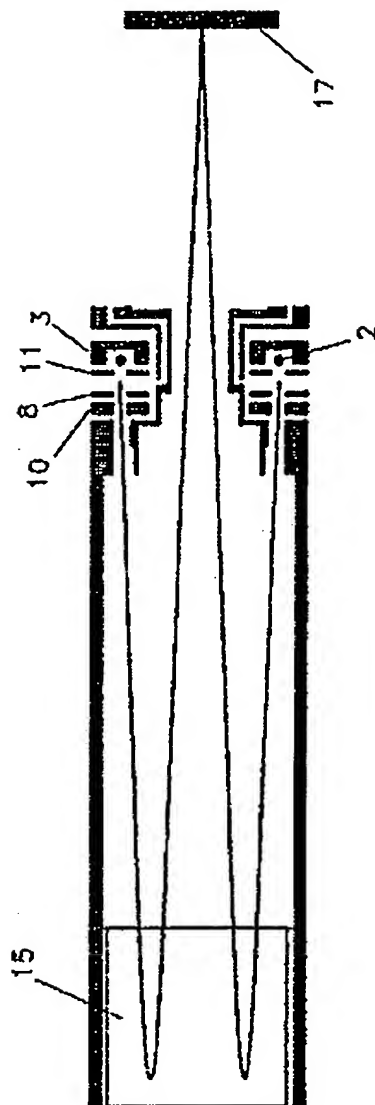
【図5】



特表平8-507640

(33)

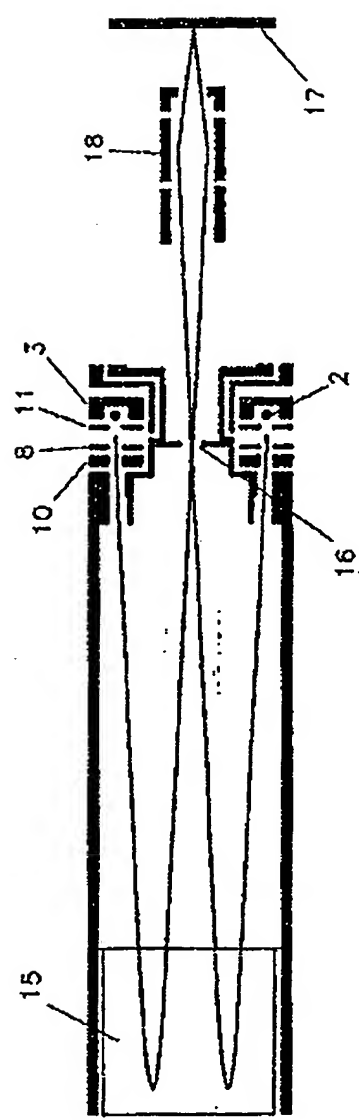
【図 6】



特表平 8-507640

(34)

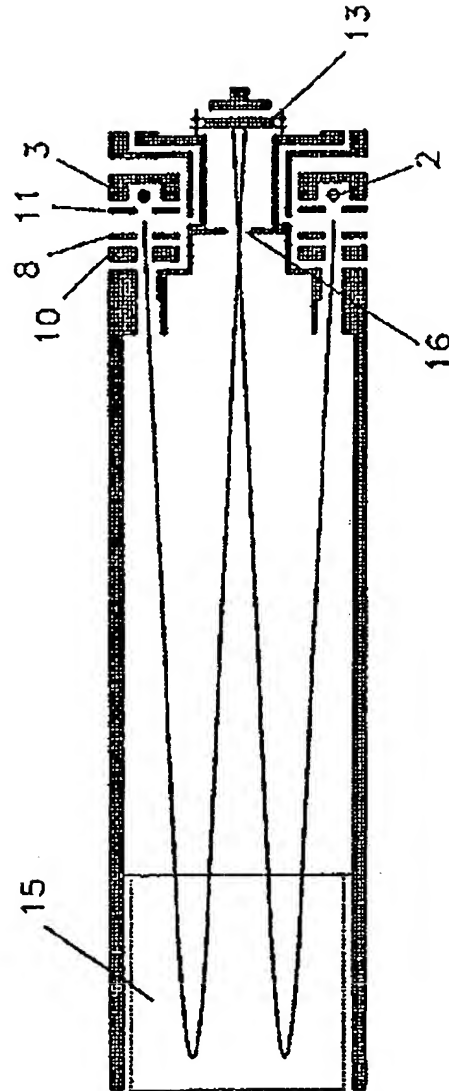
【図 6 A】



特表平8-507640

(35)

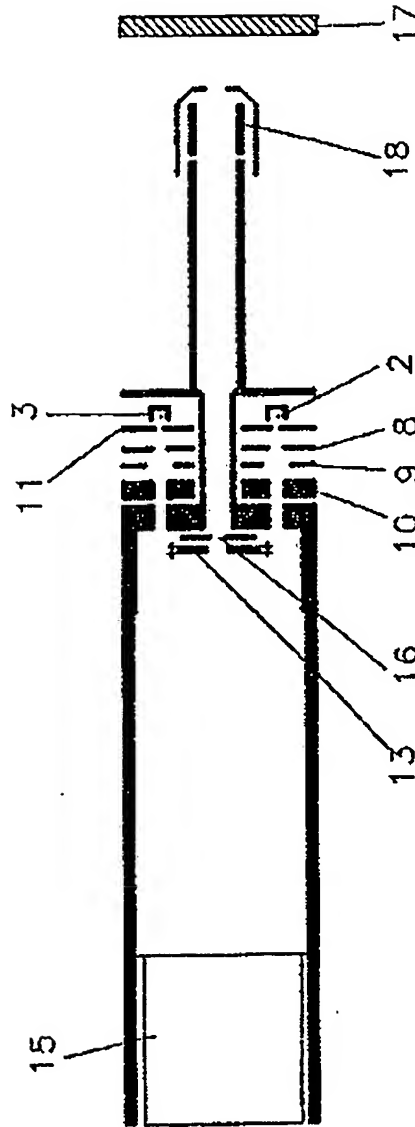
【図6B】



特表平8-507640

(36)

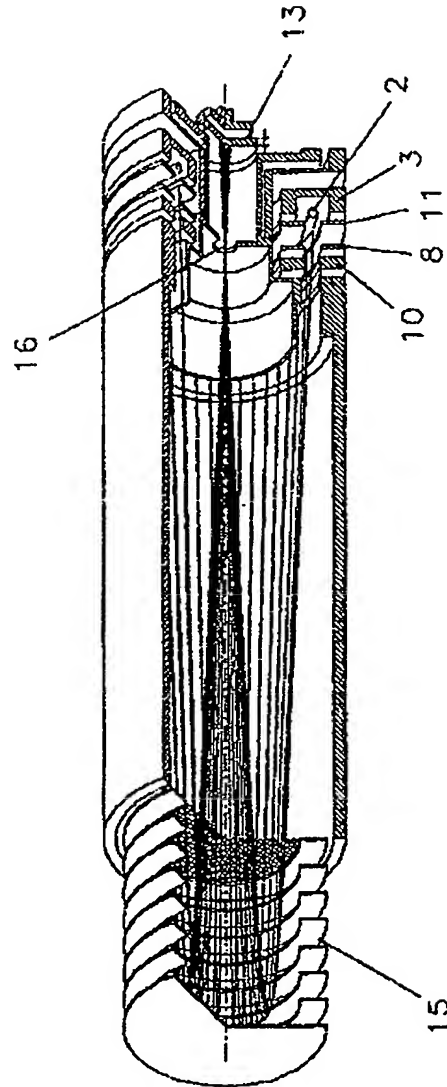
【図6C】



特表平8-507640

(37)

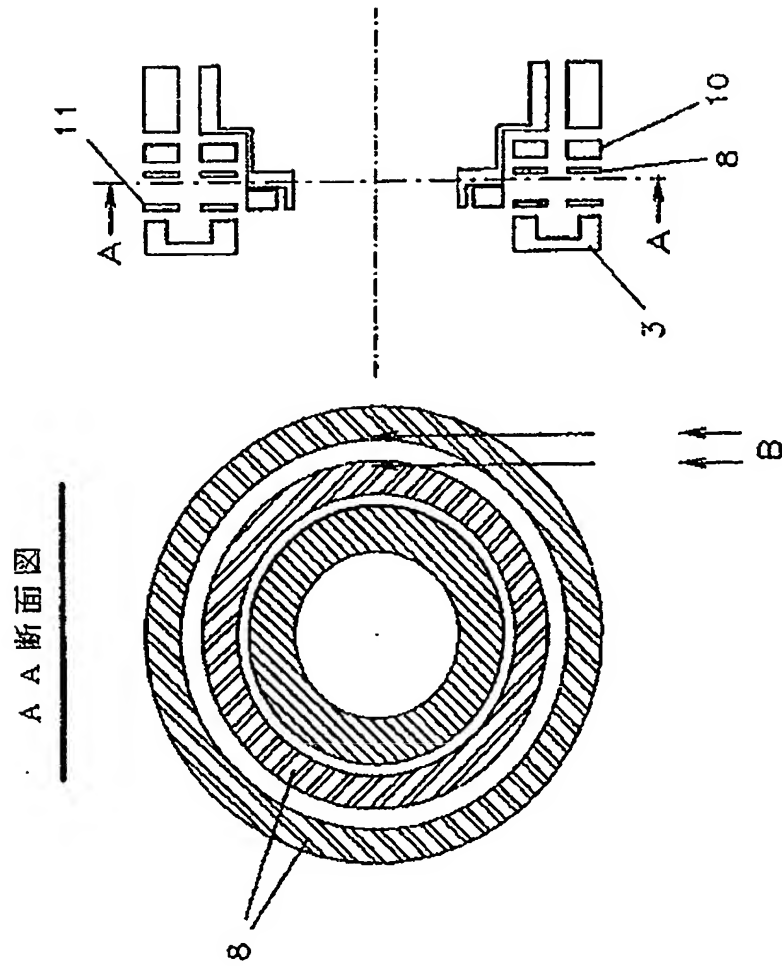
【図7】



(38)

特表平8-507640

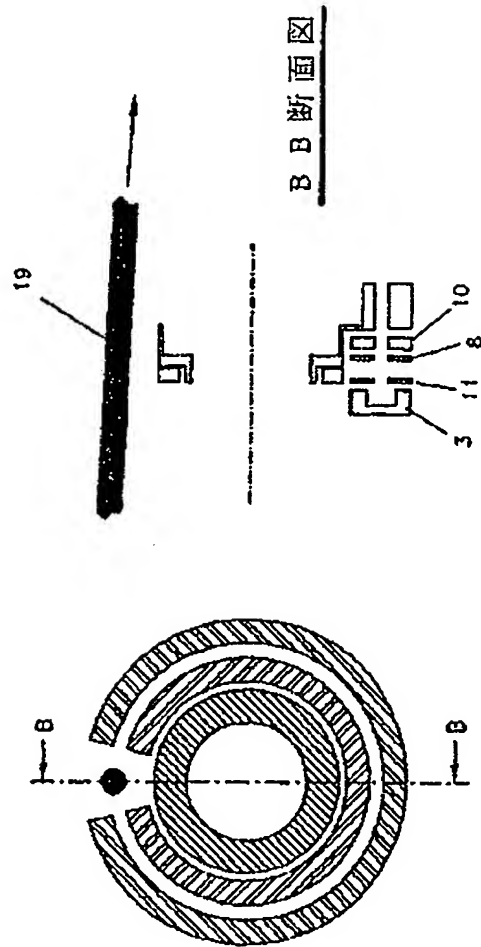
【图8】



(39)

特表平8-507640

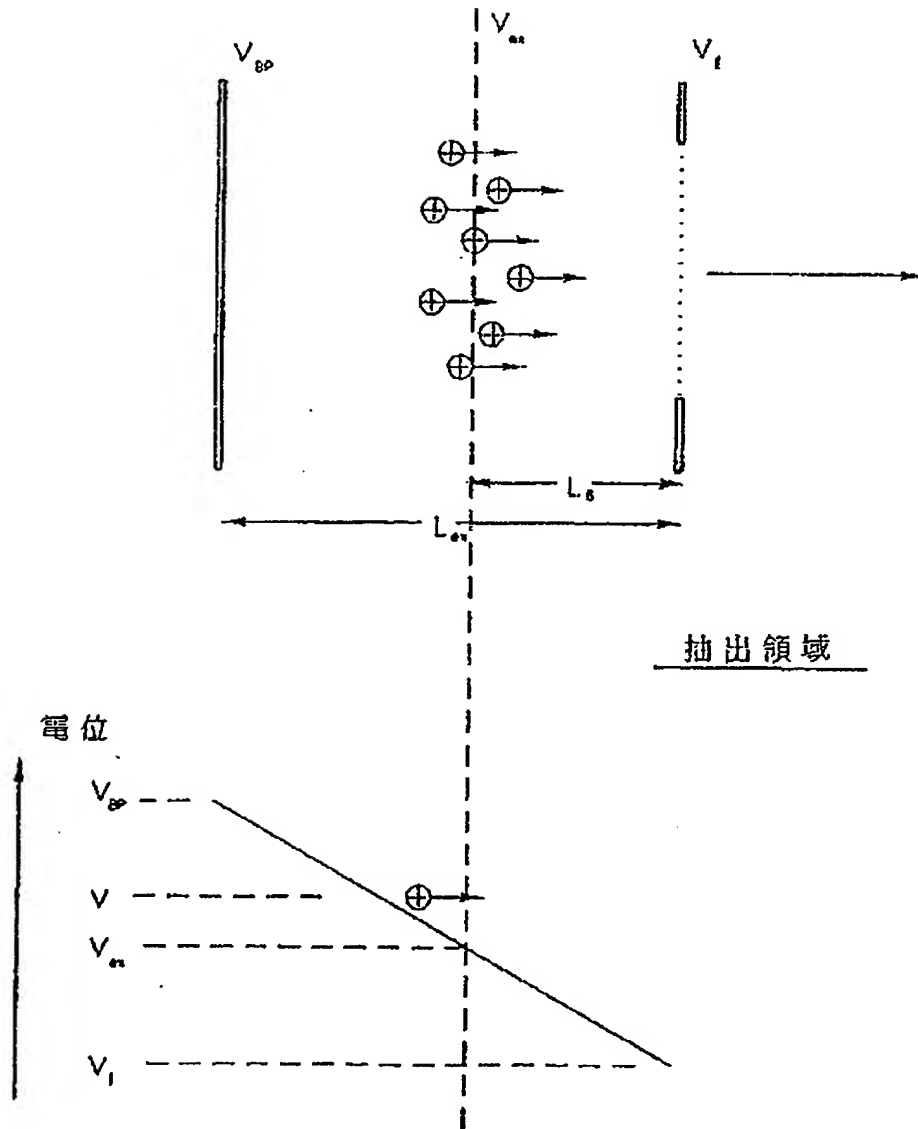
【図9】



(40)

特表平8-507640

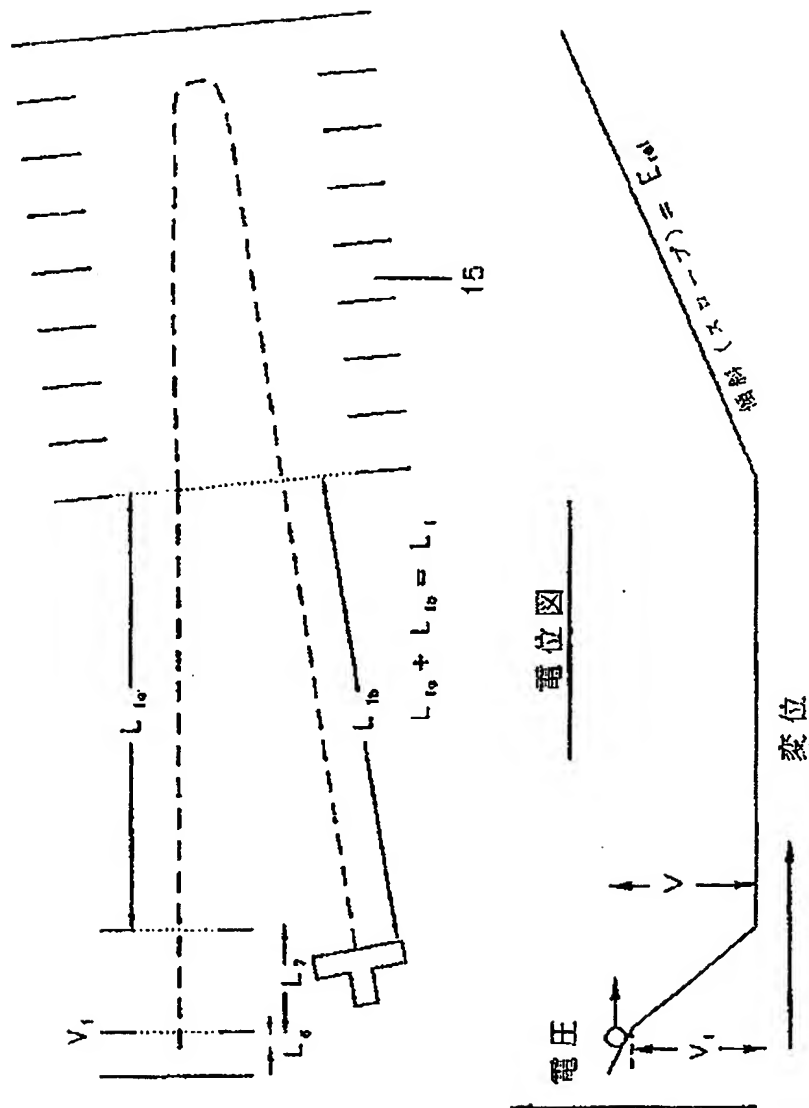
【図10】



特表平8-507640

(41)

【図11】



(42)

特表平8-507640

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/GB 94/00407

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC : H01J 49/40, H01J 27/02
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC : H01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, CLAIMS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	HO, A1, 9322789 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA), 11 November 1993 (11.11.93), see the whole document	1
X	US, A, 4458149 (M. LUTS HUSA), 3 July 1984 (03.07.84), abstract	18
A	—	19-21
A	The mass-reflectron, a new nonmagnetic time-of-flight mass spectrometer with high resolution. B.A. Manyrin et al. Zh. Eksp. Teor. Fiz. 64, 82-89 January 1973 see the whole document	18-21

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See parent family entries.

* Special categories of cited documents:

- *A* document disclosing the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* documents which may throw doubt on priority claim(s) or which is/are cited to establish the publication date of another citation or other special reasons (as specified)
- *O* documents referring to any oral disclosures, i.e. exhibitions or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is considered with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 May 1994

Date of mailing of the international search report

10.06.94

Name and mailing address of the International Searching Authority

European Patent Office, P.B. 5618 Patentstein 2
NL-2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 431 epo nl
Fax (+31-70) 340-2016

Authorized officer

Rune Bengtsson

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1993)

(43)

待表平 8 - 5 0 7 6 4 0

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/GB 94/00407

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS p.220-228, Volume 49, 1967, N.S. DAKEY ET AL. "AN ELECTROSTATIC PARTICLE GUIDE FOR HIGH RESOLUTION CHARGED PARTICLE SPECTROMETRY IN INTENSE REACTOR FLUXES", see the whole document	1-17
A	Chemosphere pp. 2031-2034, Volume 15, No 9-12, 1986, G. Matz et al. "fast, selective detection of tcd using the mobile mass spectrometer mm", see the whole document	2-17

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

(44)

特表平 8-507640

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
 Information on patent family members

07/05/94

 International application No.
 PCT/GB 94/00407

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A1- 9322789	11/11/93	NONE	
US-A- 4458149	03/07/84	DE-A- 3279041	20/10/88
		EP-A,B- 0083603	20/07/83
		WO-A- 8300258	20/01/83

Form PCT/ISA/210 (patent family sheet) (July 1992)

(45)

特表平8-507640

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AT, AU, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, ES, FI, GB, GE, HU, JP, KP, KR, KZ, LK, LU, LV, MG, MN, MW, NL, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SI, SK, UA, US, UZ, VN

特表平8-507640

7. イオンを発生する電極の形状は、イオンを効率よく発生させるように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

8. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

9. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

10. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

11. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

12. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

13. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

14. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

15. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

16. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

17. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

18. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

19. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

20. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

21. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

22. 電極の形状は、電極の形状と一致するように設計され、その形状は、電極の形状と一致する。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

*** NOTICES ***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

1. The ion source at least with annular part constituted so that ion might be extracted from perimeter of the source in vertical direction to source flat surface during activity (1, 2, 3) Ion gun equipped with the orientation means (8, 9, 10) constituted so that ion might be oriented toward the location on the medial axis of said source while in use.
2. Ion gun according to claim 1 Mass spectrometer equipped with the ion detector (13) mostly located on the medial axis of said source.
3. Mass spectrometer according to claim 2 said whose orientation means (8, 9, 10) are a series of ring type electrodes for orienting ion while in use at point on said medial axis.
4. Mass spectrometer according to claim 2 or 3 which equips further with circular opening (16) location on medial axis close to location where ion trajectory intersects said medial axis.
5. Mass spectrometer given in any 1 term of claims 2-4 further equipped with the electronic reflector (15).
6. Mass spectrometer according to claim 5 with which said detector (3) is arranged to said electric-field reflector (15) in opposite hand of said source.
7. Mass spectrometer according to claim 4 or 6 further equipped with feed hole in said source for orienting ion.
8. Mass spectrometer given in any 1 term of claims 2-7 further equipped with one or more circular filaments (2) arranged by approaching said source field.
9. Mass spectrometer given in any 1 term of claims 2-8 equipped with gas installation means (4) for introducing neutral gas to the source almost vertically to direction which ion generates from said source.
10. The mass spectrometer according to claim 9 which countered said gas installation means and arranges the pump (7).

11. A mass spectrometer given in any 1 term of claims 2-6 further equipped with the means (4) for introducing into said source the forward or negative ion generated externally.
12. A mass spectrometer given in any 1 term of claims 2-11 which constitute said source so that ion may be saved before an ion extract.
13. The mass spectrometer according to claim 12 which it has further a means for introducing a neutron to the tangential direction of the circle formed with said source, a neutron follows along a source line in case it is ionized during an activity, and is saved in the source.
14. Mass spectrometer according to claim 12 which constitutes the means for saving ion in the source with the source which consists of an electron of the charge between altitude for orienting the ion of the perimeter of the source.
15. Mass spectrometer according to claim 12 whose ion preservation means for saving ion in the source is the circular information trunk currently held at the electrical potential difference which draws ion during an activity.
16. The mass spectrometer according to claim 12 which constitutes said ion preservation means from a series of rings which supply radio frequency quadrupole mold electric field to the perimeter of a source field.
17. The mass spectrometer according to claim 12 which constitutes the ion preservation means in said source from the cylindrical shape or the annular electrode which supplies weak electrostatic field to said source field during an activity.
18. Source Field Which Supplies 1st Electrostatic Field for Making it Accelerate into Acceleration Field and Extracting Ion, The 2nd bigger electrostatic field than said 1st electrostatic field At least one electric-field disconnection flight field, electric-field reflector (15) So that it may have a detector (13) and the total aircraft flying hour of the ion from the various initial start locations on a line parallel to said 1st electrostatic field may not be dependent on the start point of ion per second field strength and die length -- a flight -- the time-of-flight mass spectrometer which can adjust the field of a course.
19. The mass spectrometer equipped with the ion gun according to claim 2 which performs time-of-flight amendment of claim 18.
20. The mass spectrometer according to claim 5 with which the secondary ion by which is further equipped with the electrostatic lens for converging the ion pulse from said ion gun on a sample (17) during an activity, and sputtering is carried out from said sample side is returned in the direction of an ion detector (13) with an electric-field reflector (15), and performs secondary ion mass analysis.
21. The mass spectrometer [almost same with having explained with reference to the accompanying drawing] according to claim 2 or 18.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

Mass part **** which uses an ion gun and this This invention relates to an ion gun and a mass spectrometer. The mass spectrometer was considered to be a thing complicated [these] and expensive, although many advantages are offered when analyzing a presentation or minute amount pollutant of a known gas. It is comparatively simple, and is compact and this invention aims at offering the ion gun and mass spectrometer of a new design which can extend the field of the invention of a mass spectrometer even to a new field.

A mass spectrometer is put into operation by making a sample evaporate, when it is not a gaseous phase beforehand, ionizing the atom or molecule in a final gas after that, and forming ion. It is operated by electric field or the field in a vacuum, and it is made not to collide with a surrounding gas molecule, the ion of different mass is distinguished, and such atoms or molecular ion enable it to measure such abundance after that. The mass of each element differs, respectively, and since it is the thing of a proper, final "mass spectrum" is solved comparatively easily with the concentration of various elements. The break through is difficult when molecular ion is contained. The reason is that two or more mass peaks may be shown even if it is a compound single for fragmentation. However, it has as a database the mass spectrum of many compounds made into a problem. Mass spectrum data [relevant to ionization according to an ion bombardment especially (it has the great portion of NBS / EPA(USA) MS library (44,000 electron-impact mass spectrum)).]

For example, as compared with other analysis methods, such as an infrared spectroscopy, the mass spectrometry has many advantages. The reason is applicable to the constituent of the large range while a mass spectrometry is a high property. Unlike many other approaches, a mass spectrometry can distinguish the various isotopes which consist of the same element. Especially this is suitable to use it with the main separation approaches, such as a gas chromatography proposed by Mats etc. (G. Mats et al and Chemosphere 15 (1986)p2031).

Generally the mass spectrometer for gas analysis consists of the ion source, an analyzer which

performs separation by the mass pair charge ratio, and an ion detector. the mean free path of the ion which all mass spectrometers are equipped with a vacuous chamber, and is made into a problem -- progress of the ion in an analyzer -- he is trying to become quite longer than a course The approach of separating according to a mass pair charge ratio is various. Moreover, since a charge is generally known (one electron is removed), this is treated by the separation and the EQC by mass. Many analyzers are constituted so that only the ion of predetermined mass or the ion near it can reach a detector from the ion source, and they function effectively as a mass filter. As these examples, there is a wine (Wein) filter analyzer which distributes the ion in space and MAG, or an electrostatic sector instrument, and it has mass selection opening or a slit on the position transducer or the general twist target. the orbit into which only the ion of a predetermined mass pair charge ratio was stabilized by the quadrupole (quadruple) analyzer -- a passage -- a detector -- it can reach -- as -- constituting -- as a narrow-band passage mold filter -- acting . A mass spectrum is generable by making electric field or a field incline so that these filter mold mass spectrometers may be used and the mass detected in the range of the mass made into a problem may be scanned.

A mass spectrum will be plotted if the signals from a detector are collected over the predetermined range. Clearly, when using this approach, only few amounts of the ion generated by the ion source reach a detector actually. In the case of the mass spectrometer of other classes, all the ion generated by the source is mainly detectable. As two examples, there are an ion trap mass spectrometer and a time-of-flight mass spectrometer.

Many factors have the effect of the following on the stability of the specific analyzer for the specific object. That is, cost is affected at the function to analyze the constraint about the sources, such as magnitude of the energy range permitted and the physical source permitted, and a slight difference of mass, the transmission efficiency of the electron from the source to a detector, the range of the mass used as the object for detection, and the complexity list of a configuration. When the mass spectrometer which is not comparatively small and expensive was needed for gas analysis, most generally the quadrupole mass spectrometer was chosen (reference-H.Dawson and N.R.Whetton, Advances in Electronics and Electron Physics, Chap III p60). It has the following faults, although a field or its precise opening is unnecessary while a quadrupole mass spectrometer can make a small analyzer.

That is, a radio frequency power source needs to be supplied, generally the mass range is rather limited, the mass analysis force is comparatively low, allowance energy is dozens of volts only, the magnitude of the source must be quite small as compared with the magnitude of an analyzer, transfer of the electron in predetermined mass is bad, and a scan is needed for generating a spectrum. For these reasons, other configurations, especially time-of-flight analyzers were invented.

In the case of a time-of-flight mass spectrometer, the mass of ion is drawn from the time amount taken for ion to result [from the source] in a detector so that the identifier may mean. Usually, it does

not depend for electronic transfer on mass in the range made into a problem, therefore there is no need for a scan. Furthermore, physically, in the case of the big source, it has the outstanding mass analysis force, ion source energy reaches far and wide, and an electronic transmission efficiency can be made very high. The source must be pulse-sized in order to specify the start point of ion clearly. However, besides this, survival voltage can be made static and power consumption can be made into min. Required electrode disposition is comparatively simple and a field is not needed. For this reason, the effect on weight and memory and all the troubles related to a magnetic material related nonlinear are cancelable. The mass range is mainly limited by only the time amount length which requires for the experiment conducted after each pulse from the source. The results of an investigation about a TOF method in recent years are offered according to the analytical chemistry (Analytical Chemistry, 64 (1992)p1027) by KOTA (Cotter).

Although a time-of-flight analyzer can come to hand commercially, MA-1, such as a vacuum division (Vacuum Division) of a scientific installment (Scientific Instrument) and the Bendix (Bendix) corporation, is not widely used except analysis research, for example. As for this, an electronic circuitry comparatively required for timing measurement till recently is expensive, and it is because it was inconvenient to use it. However, the need of ultra high-speed digital communication increased, and the electronic-circuitry technique resulted even in the rate required for this application today.

The object at the time of designing the electron impact ionization source is holding the desired mass analysis force while the ion which was fitted to carrying out the pumping (pumping) of raising the ionization efficiency of the offered gas and the ion source effectively, and removing the neutral gas which remains, and an analyzer, and was generated is detected. When the ion source is used for residual gas analysis, the volume of the ion source is made quite large-sized, and it enables it to ionize quite many gas atoms. Actually, these various requirements are opposed to each other. While especially the thing to establish for the ion source of sufficient magnitude to have much uncharged species is difficult simultaneous -- (a) -- the electronic source made to approach performing good ionization enough -- (b) Ion extract optical system which is close to extracting the ion beam of a dimension which an electron transmits to an analyzer effectively and can realize the outstanding mass analysis force enough (this) when a detector is not comparatively large-sized, at least one dimension shows that an ion beam becomes thin at two dimensions, if possible. the gas inlet made to approach an ion source field in the case of one so that most of the neutral gas atoms / molecules from (c) gas inlet may pass through an ionization field, and (d) -- preferably Before the gas which counters a gas inlet, is used for removing the superfluous gas near a source field, and is not ionized moves to the residual field of an analyzer, it is difficult to obtain the pumping which is made to be sent out with a pump.

This invention aims at conquering these opposing requirements.

The ion gun by this invention is equipped with the ion source (1, 2, 3) at least with the annular part

constituted so that ion might be extracted from the perimeter of the source in the vertical direction, and the orientation means (8, 9, 10) constituted so that ion might be oriented toward the location on the medial axis of said source while in use to the source flat surface during the activity.

It has specific arrangement of the ionization source used with an ion detector, a duty period is large, carrier gas is discharged, and when the start points in the source differ, it offers the time-of-flight mass spectrometer which has the new geometric configuration which amends time of flight simply and effectively, while a certain amount of energy selection is possible for this invention.

Apart from high sensitivity being desirable, a gas analyzer has other important advantages of using effectively the gas which carries out ** ON there. Although a mass spectrograph must send out air with a pump and must make a good vacua, a pump is comparatively expensive, and its power is insufficient, and it is heavy. For this reason, while being able to decrease the cost of an instrument greatly by making flow of a gas required for analysis into min, the trouble for making an analyzer portable is cancelable.

Since criteria or starting time is needed in order that a time-of-flight mass spectrometer may draw time of flight from the detected ion time of arrival, the ion source is pulse-ized by the approach of a certain kind. Therefore, other important things about the source are that an uncertain element will be contained at the time of flight measured. In the case of the gas source, generally, an ion extract electrical potential difference is pulse-ized at the start of each period of an analyzer (refer to wcWiley and I.H.Maclaren Rev.Sci Instrum.). the time of flight of the ion which opens and starts spacing at the various points along the next flight direction -- the mass -- ** -- rather, it will change with the start locations and a final mass spectrum will be made not clear rather than it says. Although a certain range can also be compensated for this effect (a tooth space / energy focusing, reference), the ion source for time-of-flight analyzers can hold the dimension along a flight line comparatively small, making breadth of the initial velocity of the direction of a flight line into min. for this reason -- often -- a gas inlet -- preparing -- initial neutron speed -- an ion flight -- it is made vertical to a course (reference, T.Bergmann et al Rev.Sci Instrum.60(1989) p792)

It takes into consideration also about it not being a little important for others, either. The source and an analyzer are made into the object structure of a cylindrical shape, and manufacture and a design are made easy. Moreover, in many examples of application, an analyzer must be compact. In order to satisfy this demand and the demand to the above-mentioned time amount focusing, an electric-field reflector is often used for an analyzer. For this reason, since the ion source and a detector are arranged at the same edge of an analyzer, it must arrange so that a collision may be avoided.

The time-of-flight mass spectrometer by other modes of this invention The source field which supplies the 1st electrostatic field for making it accelerate into an acceleration field and extracting ion, The 2nd bigger electrostatic field than said 1st electrostatic field At least one electric-field disconnection flight field, electric-field reflector (15) it has a detector (13) and the total aircraft flying

hour of the ion from the various initial start locations on a line parallel to said 1st electrostatic field is not dependent on the start point of ion per second -- as -- field strength and die length -- a flight -- the field of a course can be adjusted.

For this reason, if it states x , it comes and the deflection from the total aircraft flying hour of the ion started by x is expressed by the expansion into series when making x into the initial start point on a line parallel to extract electric field, and the value of x of the total aircraft flying hour of the ion started by x is zero, both the term of x and the term of x square will become zero.

Although the general various examples of the electron impact source are already known, they explain the example by this invention with reference to the following drawings.

Drawing 1 shows the ion source of the conventional analyzer -- coming out -- it is -- Drawing 2 It is the schematic drawing showing the conventional electron impact ion source. Drawing 3 It is the schematic drawing showing the 2nd conventional electron impact ion source. Drawing 4 The cyclic ion source used for the ion gun by this invention is shown. Drawing 4 A The simple analyzer which uses the ion gun by this invention is shown. Drawing 5 It is drawing showing the ion source using two filaments used for this invention. Drawing 6 It is drawing showing other examples of the ion gun of this invention. Drawing 6 A It is drawing showing the example of Drawing 6 which uses an electron lens, Drawing 6 B It is drawing showing the time-of-flight analyzer which uses the ion gun by this invention. Drawing 6 C It is drawing showing this invention used by two roles of the primary ion gun used with a secondary ion mass spectrometer, and a time-of-flight analyzer, Drawing 7 They are other drawings showing the equipment of Drawing 6 B. Drawing 8 It is drawing showing the cross section of the ion gun by this invention. Drawing 9 It is drawing showing the example of the ion gun which uses the combination structure of a time-of-flight mass spectrometer for a residual gas and the secondary sources of ion. Drawing 10 It is drawing for explaining the trouble relevant to a time-of-flight mass spectrometer and the source field made simple. Drawing 11 shows the example of time-of-flight compensation used for other examples of this invention.

Drawing 1 shows the electron impact ion source used by a wheelie (Wiley) and McLaren (Maclaren). The ion for analyzing is extracted from the core of the ionization field 1. This ionization field 1 is being isolated to some extent from the filament 2 which supplies an electron. To the ion flight line A, the gas source 4 is parallel, restricts the mass analysis force, and supplies a gas to an analyzer (not shown). A grid 5 specifies the acceleration field 6. The volume of an ionization field is restricted to the diameter of the beam extracted by the 2-way. The beam diameter concerned is restricted by the magnitude of the detector used at the remote edge of an analyzer. Here, the magnitude of an ion beam is the same as the magnitude of the ion beam generated from the source. As mentioned above, depth of the source of the 3rd direction along the ion flight line A can be made small, and the mass analysis force of an analyzer can be enlarged.

Drawing 2 shows the electron impact source which has the volume of a bigger ionization field. Here,

the electron emission filament 2 is annular considering the ionization field 1 as a core. However, an ionization field is restricted by the magnitude of the detector used for receiving an ion beam. Even if it uses a large-sized (therefore, it is more expensive) detector, as an ionization field becomes large, the electron emission filament 2 becomes far from the core of an ionization field, therefore electron density becomes weaker. However, this ion source is symmetrical with a cylindrical shape, and advantageous.

The same source structure is used by Dela-NEGURA (Della-Negra (Anal.Chem.57(1985) p.2035)). The whole analysis is covered, the ion beam from the ion source is turned to the direction of an electric-field reflector through the hole of a detector, the electric-field reflector concerned extends an ion beam, and they also return to the direction of a detector. Although it is a design compact [this] and symmetrical, ionization area size is restricted, generally the ion detector which has the hole is more expensive, since beam distribution is introduced, a beam does not return to the direction of the source, but it results in a detector, and there are troubles, like the time amount distribution which is not desirable arises.

Especially one advantage of a time-of-flight analyzer is that the geometric structure has the degree of freedom considerably. When a detector is made large-sized so that this can intercept a beam at the outlet of an analyzer, it is being able to enlarge an ion beam in a single dimension at least. Although it is ideal that an output beam is small, it can use that the beam generated from the source can be made large-sized, an ionization field can be enlarged, and it can be made high sensitivity more. In addition to these descriptions, invention currently indicated here is equipped with other descriptions.

Drawing 3 shows the electron impact ion source which has the gas inlet 4 which encloses the perimeter of the ionization field 1, a pumping 7, and the ion extract optical system 8, 9, and 10. Such the source operates by the time-of-flight analyzer or the pulse-ized gun by supplying the event of the following periods repetitively.

In the 1st step, the back plate 11 and the ion extractor 8 of the source are held on the same electrical potential difference, and an ionization field is widely made into electric field and irrelevance (electric-field disconnection). In this phase, the electron generated from the elevated-temperature filament 2 is accelerated to the ionization field 1 through the opening 12 of the source back plate 11 with the electrical potential difference of the electrical potential difference of a filament 2, and the electronic reflector 3. Here, an electron collides with uncharged species and forms ion.

More, which electrical potential difference of the source back plate 11 or the ion extractor 8 is changed suddenly, electric field are generated in the 2nd step of a short time, and ion is accelerated in the direction of an analyzer through the opening 14 of the ion extractor 8 from the ionization field 1. Through opening 14, it is accelerated further, and ion is converged or deflected with orientation / focusing electrodes 9 and 10.

Although the magnitude of the source is limited to the dimension of space, it can also extend the

source in the direction vertical to the flat surface of drawing. The source of the shape of such a line can hold a critical size small as mentioned above while having the comparatively big ionization volume. However, while the source of the shape of a long straight line needs an expensive long detector or some ion optics systems and being able to make the dimension of an analysis system small, the mass analysis force can be held. This is very difficult actually. The reason is that the ion which the ion generated from the edge of the source generates from the core of the source moves a completely different path.

As mentioned above, in this invention, it has the long ion source bent circularly, i.e., the cyclic ion source. Here, an ion beam is vertically generated to the circumferentia and only whenever [corniculus] is deflected to a vertical medial axis after that to a ring. Drawing 4 shows how an ion gun is constituted simply according to these matters. It is clear that the cross section of this ion gun is the same as that of what rotated the ion gun of drawing 3 to the circumference of the symmetry axis of a gun. The same reference number is attached to the component of drawing 3 , and a corresponding component. In this example, as for the orbit of ion, the ion which it generates from all the parts of the source near and that it is the symmetry of revolution in this way shows following the same flight path to a target 17 to the conical surface. This kind of source is mainly used for the circumference of the shaft of the annular source with the analyzer of the arbitration constituted by the symmetry of revolution. Drawing 4 A shows the time-of-flight analyzer which uses this source. Here, the opening 16 for control and an ion detector 13 are added. It is advantageous to set up a flight path on a cylindrical shape-like front face or the conical surface of various include angles in other analyzers. The source is circular annular and it being common in a design is that the flight path exists in the circumference of a vertical medial axis in thin shell symmetrical with a revolution to the annular section of the source.

Especially the advantageous point of the configuration of drawing 4 is approaching the ionization field 1 and a pumping 7 extremely, and being able to arrange the gas source 4. The gas pressure force of an annular inlet port can be set up very low by the external pressure low lower berth, and the flow of a molecule can be fitted to predetermined conditions. A neutral gas molecule is generated in the source so that a rate may change covering the include angle of the comparatively (setting in a drawing flat surface) narrow range to the bottom of these situations. This has two advantages. First, the velocity component of the neutral molecule which is [1st] along the next ion flight line A is small, and the outstanding mass analysis force can be realized comparatively easily. The neutral molecules which are not ionized and extracted by the 2nd pass [no] along the source, and almost reach direct progress and an analyzer at the pumping opening 7. Real effective-pressure (or neutral particle member consistency) differential is called for between a source field and the residual field of an analyzer, without preparing small opening as an ion outlet especially, since a pumping is very efficient and the ratios a neutral molecule acts [ratios] as a recurrence student are only few.

It is clear that it is not the only geometric structure effective in the source cross section of drawing 3 presupposing that it is annular. For example, drawing 5 shows the source cross section which has two electron emission filaments 2 used for residual gas analysis within a vacuum chamber. Moreover, the advantage of annular arrangement is being able to prepare a predetermined member and the ion beam converged on a small diameter at a certain back point in an analyzer while the source's is simultaneously lengthened while approaching the ionization field 1 extremely and being able to arrange a filament 2 in this case, and enlarging the volume of an ionization field more. Many other deformation is possible and these are clear for this contractor.

Drawing 6 - 6C is the abbreviation sectional view showing other examples of an annular source ion gun. In this case, while using an electric-field (known as reflectron (reflectron)) reflector, returning ion in the direction of the source and using the analyzer using this invention as a compact further, time amount focusing is realizable simultaneously (refer to following).

Drawing 6 shows the annular source ion gun of this invention with which mass is used for giving an impact to a sample 17 with known ion. Although drawing 6 A is the same configuration as drawing 6, it is equipped with the electrostatic lens 18 used for converging ion on a sample 17.

Drawing 6 B shows the mass spectrometer which uses this invention. Here, a reflector 15 turns the ion of known [mass] in the direction of an ion detector 13. Except for having further the detector for analyzing the ion by which sputtering is carried out from a sample 17 collected with a lens 18, the equipment of drawing 6 C is the same as the equipment of drawing 6 A, and turns an electron in the direction of a detector 13 with a reflector 15 after that [into equipment]. For this reason, equipment functions as the pulse-ized source of primary ion, and a time-of-flight mass spectrometer as a mass spectrometer of secondary ion.

As mentioned above, it is clear that the annular source can solve easily the trouble produced by equipping the source and the same edge of an analyzer with the target 17 or the detector 13. The ion which returns from a reflector 15 passes along the core of the annular source, and faces to a detector 13. A detector 13 can also be arranged near the outside of an analyzer. There is almost no geometric constraint in this case, and it is easy to access. Drawing 7 is other drawings showing arrangement of drawing 6 B, and shows the configuration more clearly according to the three dimension. By this drawing 7, the analyzer part is omitted and the orbit is shown inside.

The whole annular source product is not necessarily needed depending on the case. Two or more smaller sources are arranged around a ring in these cases. Since such arrangement can use a spare using an easy switch when the one source breaks down, it is advantageous in respect of dependability. As an alternative, cross contamination is hardly reliable and two or more gas sources from various sources can be analyzed.

Since the source must be pulse-ized, one potential fault of the time-of-flight mass spectrometer of common use is being in the inclination the duty cycle's becoming short. This is the only trouble. Here,

the matter used as the object for analysis will be supplied by continuous flow, a part of flow will be missing in this case, and analysis sensibility will be reduced. When it can be made to stop in the source, ion can be detected until it extracts the pulse which the following ion makes start each cycle of an analyzer for the ion generated in the source. In an example of an electron impact gas analyzer, the rate of gaseous flow is the order of 300 m/s. For this reason, between the electron impact phases in a cycle (it is short contrary to an ion extract phase), when a source field assumes that it is comparatively unrelated to electric field, and a repetitive rate is 100kHz, the ion generated before the following ion extract pulse just behind an ion extract pulse moves $10\mu\text{s} \times 300\text{ m/s} = 3\text{mm}$. If ion extract optical system is constituted so that ion can be efficiently extracted from the field which has the depth of at least 3mm to a gas flow direction, all sample streams (stream) may be used.

Although the above-mentioned example is practical, the repetitive rate of the dimension of the source is rather still quite early large. In order to use a trial or a longer flight tube for big mass, in contrast with making the electric field of a source field into arbitration, a longer period is advantageous from the gestalt of a precision ion preservation device. This is only especially realized by preparing the weak electrostatic field relevant to the space charge of an electron beam depending on the case, when the geometric structure of the source is suitable. This is more easily realized by annular structure. The approach as an alternative supplies a radio frequency electrical potential difference to four rings 9 and 10 which enclose the source field, and constitutes RF (radio frequency) quadrupole bent circularly. This approach can limit in potential the ion which has a certain amount of big initial energy. The orbit of all the mass made into a problem is stabilized, and RF electric field are chosen so that the drift of the perimeter of the annular source may be carried out comparatively slowly. In an ion extract phase, RF electric field are changed off.

The 3rd approach of ion preservation can form a thin electric conduction line in the perimeter of the annular source of the core of a source field: An electrical potential difference is supplied to an electric conduction line, ion is drawn in the direction, and it enables it to hold ion in a source field. Thus, preparing an "information trunk" is already known (reference: Oakley and R.D.Macfarlane and Nuclear Instrum.and Methods 49 (1967)p220).

The 4th approach of ion preservation uses a cylindrical or annular electrode for the perimeter of an ionization field, and generates weak electrostatic field.

In order to improve a preservation property, it is advantageous to pour in ion or a neutron in the direction of B to the tangential direction of a ring. Then, initial particle velocity is first set up along with the longitudinal direction of the source, and an ion capture device superimposes a comparatively loose curve on the initial velocity, and saves ion in potential to infinity. This is used especially in order to make an analyzer interface with the continuous source of comparatively (as opposed to temperature energy) active ion, such as for example, the inductive-coupling high-frequency plasma source.

Moreover, in drawing 4 A and 7, when it notes having formed the circular opening 16, the big advantage of the annular source is that the locus of ion converges from the extended source. In this point, mass and energy can be chosen by opening. When the electrical potential difference with the proper ion from the source is applied to orientation/focusing ring electrodes 9 and 10, only opening is passed (refer to drawing 3), and ion is fallen and attached to a predetermined energy range and a predetermined start location. By adjusting this range, by opening, sensibility can be made to some extent into a sacrifice, and the mass analysis force of an analyzer can be increased. Since the sensibility of this geometric structure is already quite high, such compensation seldom poses a problem but is useful.

the case of a time-of-flight mass spectrometer -- the electrical potential difference of the ring-like deflecting electrode 10 -- a short time -- it separates from a proper electrical-potential-difference value, and even if pulse-ized, a certain amount of analysis force is held. In order to do in this way, he is trying only for the time amount to which ion reaches deflecting system to affect only the mass of the limited range where breadth and the short-time pulse of a deflecting electrode have ion in space. This needs the 2nd deflection ring set with which the analyzer was attached caudad apart from the source. In this case, the spatial breadth of the ion of various mass is large to some extent. As an example with effective eliminating specific mass, it is the case where it is contained in a lot of [the sample component made into a problem] carrier gas. In this case, while being able to prolong the life of a detector by eliminating a carrier gas signal, he is trying for a data system not to spend time amount on the processing of data which is not made into a problem. If there are some which eliminate the heavy ion which crosses the mass range made into a problem as the 2nd example and this is not eliminated in this case, the heavy ion exceeding the mass range made into a problem is detected after initiation of the following analysis period, and it is recognized as optical ion by the data system after that.

In the case of a predetermined application, it is desirable to analyze the residual gas in the two or more matter sources (SIMS), for example, the ion by which sputtering was carried out from the solid-state front face, and a vacuum system with a single analyzer. In this case, it is more desirable to constitute the electron impact source along with a part of ring, and the gap for introducing the ion beam collected through the extract optical system of common use is prepared. Drawing 9 shows an example of the combination-geometric arrangement for such SIMS and residual gas analysis. SIMS ion is pulse-ized by pulse-izing SIMS extract optical system 18 used for forming the narrow (thin) beam 19 directly poured into a primary ion gun (not shown) and an analyzer. Using reflective structure as shown in which drawing, an analyzer is readjusted so that actuation of which the source may be suited, and reflector voltage which presents the highest mass analysis force is operated for every case.

In the case of a time-of-flight mass spectrometer, the mass of the detected ion is drawn from the time

amount over the predetermined conventional time to which ion reaches a detector. In order to measure mass to accuracy, it is not desirable for the time of arrival to be dependent on the start location in things other than mass, for example, the source, or the energy in an analyzer. The trouble of the potential about the source shown in drawing 3 is that the rates at the time of the ion of the same mass in the various locations in the source needing various energy, and starting from the source differ, when ion extract electric field are turned on. Therefore, the time of flight differs, respectively and these ion does not reach a detector simultaneously.

Drawing 10 shows the trouble of a simple source field in case an ion extractor is a flat-surface grid, all the equipotential surfaces are flat surfaces and the potential of the source is only the linear function of a location along a flight line. The upper half of drawing 10 shows the location where various ion centering on the flat surface of an electrical potential difference V_{ex} in the starting point of time-of-flight measurement may exist. The lower half of drawing 10 shows the electrical-potential-difference distribution in a source field. Here, these electrical potential differences are related with the potential of the electric-field disconnection field of an analyzer. Starting time is determined by any of the following (a) or (b) they are. Namely, event of (a) extract electric field being turned on A source back plate and an ion extractor plate are the same electrical potential differences before starting time. In starting time, the electrical potential difference of one of plates is changed suddenly, and the potential dip shown in drawing is generated.

Or event of ion being generated in the static electric-field dip shown in (b) drawing All ion is generated by photoionization by the short pulse in this case according to the pulse of a laser beam.

Be alike is determined.

In the lower half of drawing 10 , each ion has the potential energy eV depending on a start location (here, e shows the charge.). It is clear that each ion from various start locations along a flight line is generated from an extract field at various rates and the event. It is ** carried out of the exact expression to the attached paper A.

A wheelie and McLaren invented the arrangement which has the separation extract field and acceleration field which have been arranged as follows. That is, the time amount concerning the ion started from various locations being generated from the source, if a detector is arranged in a right location is mainly amended by the various rates which ion obtains. Although the ion started near the back plate of the source is generated later than the ion with a little little energy started near an ion extractor plate, it catches up with these. Such arrangement has a problem in geometric constraint, performs only primary amendment, and can apply it only to the gas source.

Other approaches invented in order to amend time of flight in case ion energy differs were thought out by MAMIRIN (Mamylin et al (Sov.Phys.JETP 37 (1973)P45)) etc. An electric-field reflector is used for a part of ion flight path. long by the inside of a reflector, in order to penetrate reflective electric field further, although the ion which has higher energy has the more short time amount which

crosses the electric-field disconnection field of an analyzer -- a time amount stay is carried out. Two opposite effectiveness is mostly offset by designing suitably. In the design proposed by MAMIRIN, when it has two fields which consist of different field strength and ion energy is different, the secondary time of flight can be amended. All ion, such as the gas source and secondary ion (SIMS) generated by the primary ion beam for example, from a solid-state sample, can apply this approach to the source started from one flat surface.

Optimizing so that two approaches may be combined using the source of the Willie McLaren mold for tooth-space focusing and the source flat surface may exist in the preceding paragraph of a MAMIRIN stage in the primary time amount focusing location of the Willie McLaren stage was proposed. Although such a system can perform primary amendment, analytically, the concept of a "duplex analyzer" cannot say that it excels and does not have an opportunity to perform secondary amendment to start locations differing.

According to the 2nd mode of this invention currently indicated here, it has the time-of-flight analyzer which has the separation extract and acceleration stage which have an electric-field disconnection field, and a single dip electric-field reflector, and secondary amendment of the time of flight to the start location in the source is performed. It is advantageous at the point that an electric-field reflector can be considered as a design simpler than a MAMIRIN mold, and even free can carry out the dip (slope) in such a design. An easy example is shown in drawing 11 .

The imagination source is not used although the logical constraint about a required electrical potential difference and distance is analyzed. The reason is that such the source performs only primary amendment. Instead, the time of flight in four fields (an extract, acceleration, a drift, and echo) of an analyzer is directly written down as a function of flight energy, and is found by changing a start location, and the function of a total aircraft flying hour is offered. Then, by choosing an electrical potential difference and a dimension for the 1st and 2nd differential to the flight energy of this function suitably, it considers as zero and secondary time amount focusing is generated with a detector.

The attached paper A is performing mathematical processing using expression: (die-length L6), i.e., an extract field, given to drawing 11 to the time of flight of each field by which label attachment was carried out, an acceleration field (die length L7), a drift region (die length L1), and reflective space. Each expression is described as a function of the potential V in an ion start location (also see drawing 10). In order to simplify an example, ion assumes that it is what is started by rate zero. Although actually doing in this way is suitable approximation, therefore it is often enough, this is taken into consideration when a start rate changes symmetrically to a start location. Next, a total aircraft flying hour is described as total of the time amount concerning each phase. In order to make change of this total time at the time of changing V into min, the 1st and 2nd differential is performed and this is made into zero. Two variables are adjusted and two equations satisfied are given. Actually, since the

physical dimension is being fixed, let the variables in which two adjustments are possible be the electrical potential difference V_1 of an ion extractor plate, and the field strength E_{ref} of an electric-field reflector. In order that it may get confused, the analysis method by the equation is convenient if you solve these numerically. Such a solution approach based on an attached paper A choosing a dimension and nominal flight energy actually is shown. Eventually, based on this solution approach, some field strength is shown and it is confirmed that a value is appropriate. Moreover, a total aircraft flying hour is plotted to the flight energy of ion, and the eternal point is shown in nominal flight energy.

This time amount correction method is applicable to the source which has the spatial depth of not only the electron impact source but arbitration. The time-of-flight mass spectrometer with which ion is generated by ionizing the neutron in a gas phase by the laser beam as other suitable examples is mentioned. Even if it is the case of the laser beam which has depth comparatively by performing secondary focusing, the outstanding mass analysis is possible and this shows that the range of an ion start location is wide.

添付書類A

図 11 に、電極の物理的レイアウト及び寸法を示している。 図 10 は、抽出領域を更に詳細に示し、特に、補正の必要のある種々のスタート位置を示している。

各イオンの電荷は： $e = 1.60217733 \cdot 10^{-19}$ であり、
また、質量は、 m である。1 ダルトン (a.m.u.) は、 $m_1 = 1.6605402 \cdot 10^{-27}$ kg に値する。

従って、例えば、窒素分子 N_2 の質量は、 $m = 28 \cdot m_1$ である。

ドリフト空間

シンプルな電界開放ドリフト空間の場合、イオンの公称エネルギーは $e \cdot V$ であり、速度は V である。

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 = e \cdot V \quad \text{且つ} \quad T_1 = \frac{L_1}{V}$$

従って、所要時間は： $T_1 = L_1 \cdot \sqrt{\frac{m}{2 \cdot e \cdot V}} = \frac{L_1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V}}$
によって、与えられる。

反射空間

反射領域における所要時間は、速度： $\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}}$
からの停止時間の 2 倍であり、
 $a = \frac{e \cdot E_{ref}}{m}$ を用いて

$$T_2 = \frac{2 \cdot V}{a} = \frac{2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}}}{\frac{e \cdot E_{ref}}{m}} = \frac{2}{E_{ref}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V}$$

となる。

抽出領域

ソース領域において、任意の初速度を無視すると、

$$a = \frac{e \cdot (V_{ex} - V_1)}{m \cdot L_6} \quad \text{で、停止スタートして、}$$

出口速度に到達するのに要する時間は、 $\sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot (V - V_1)}{m}}$ である。

$$T_6 = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot e}{m}} \cdot \sqrt{V - V_1}}{\frac{e \cdot (V_{ex} - V_1)}{m \cdot L_6}} = \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V - V_1}$$

時間集束解析

数字により解析して、長さ及び電圧を検出する

ドリフト 抽出 加速 公称エネルギー

$$L_1 = 0.33 \quad L_6 = .002 \quad L_7 = .010 \quad V_{ex} = 2000 \quad V = 2000$$

$$V_1 = 1800 \quad E_{ref} = \frac{5000}{.05} \quad \text{を推定する}$$

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{4} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{\theta \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} + \frac{\sqrt{2}}{(\sqrt{\theta} \cdot \sqrt{V})} \cdot \frac{\sqrt{m}}{E_{ref}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{(\sqrt{\theta} \cdot \sqrt{V - V_1})} \dots = 0 \\ & + \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{\theta}} \cdot \left[\frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V})} - \frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V - V_1})} \right] \end{aligned}$$

且つ

$$\begin{aligned} & \frac{3}{8} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{\theta \cdot V} \left(\frac{5}{2} \right) \right]} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\left[\sqrt{\theta \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \cdot \frac{\sqrt{m}}{E_{ref}} - \frac{1}{4} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{\theta \cdot (V - V_1)} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \dots = 0 \\ & + \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{\theta}} \cdot \left[\frac{-1}{\left[4 \cdot V \left(\frac{3}{2} \right) \right]} + \frac{1}{\left[4 \cdot (V - V_1) \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \right] \end{aligned}$$

と仮定する。

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ E_{ref} \end{pmatrix} = \text{find}(V_1, E_{ref})$$

上記方程式を数字によって解くと、

$$V_1 = 1813.233$$

$$E_{ref} = 33339.073$$

加速領域

加速領域におけるスタート速度は、前記のように： $\sqrt{\frac{2 \cdot \theta \cdot (V - V_1)}{m}}$

によって与えられる。

加速度を $\frac{\theta \cdot V_1}{m \cdot L_7}$ とすると、出口速度は $\sqrt{\frac{2 \cdot \theta \cdot V}{m}}$ である。

従って、その時間は、

$$T_7 = \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot \theta \cdot V}{m}} - \sqrt{\frac{2 \cdot \theta \cdot (V - V_1)}{m}}}{\frac{\theta \cdot V_1}{m \cdot L_7}} = \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\theta}} \cdot (\sqrt{V} - \sqrt{V - V_1})$$

全飛行時間

全飛行時間は、以下の和によって与えられる。

$$\left[\frac{L_1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\theta}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V}} + \frac{2}{E_{ref}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\theta}} \cdot \sqrt{V} + \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\theta}} \cdot \sqrt{V - V_1} \right] + \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{\theta}} \cdot (\sqrt{V} - \sqrt{V - V_1})$$

ソース内の種々の位置からスタートすることに与えられる飛行エネルギーに対する全時間の第1微分は、

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{4} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{\theta \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} + \frac{\sqrt{2}}{(\sqrt{\theta \cdot V})} \cdot \frac{\sqrt{m}}{E_{ref}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{(\sqrt{\theta \cdot V} \cdot \sqrt{V - V_1})} \dots \\ & + \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{\theta}} \left[\frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V})} - \frac{1}{(2 \cdot \sqrt{V - V_1})} \right] \end{aligned}$$

であり、第2微分は、

$$\begin{aligned} & \frac{3}{8} \cdot L_1 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{\theta \cdot V} \left(\frac{5}{2} \right) \right]} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\left[\sqrt{\theta \cdot V} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \cdot \frac{\sqrt{m}}{E_{ref}} - \frac{1}{4} \cdot \frac{L_6}{(V_{ex} - V_1)} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\left[\sqrt{\theta \cdot V} \cdot \sqrt{V - V_1} \left(\frac{3}{2} \right) \right]} \dots \\ & + \frac{L_7}{V_1} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{\theta}} \left[\frac{-1}{4 \cdot V \left(\frac{3}{2} \right)} + \frac{1}{4 \cdot (V - V_1) \left(\frac{3}{2} \right)} \right] \end{aligned}$$

である。

例示

抽出領域の電界強度 $E_0 = \frac{V_{ex} - V_f}{L_0 \cdot 1000} \quad E_0 = 93.383 \quad \text{V/mm}$

実際に用いられる
リフレクトロンの奥行き $\frac{V}{E_{ref}} \cdot 1000 = 59.99 \quad \text{mm}$

抽出領域の電界強度 $\frac{V_{ex} - V_f}{L_0 \cdot 1000} = 93.383 \quad \text{V/mm}$

加速領域 $\frac{V_f}{L_f \cdot 1000} = 181.323 \quad \text{V/mm}$

ソース後方プレートとイオン抽出器電極との間隔を $L_{ex} = .005$ とすると、
(図 10 参照)

電界が線形なので、
必要な抽出パルスは： $V_p = \frac{L_{ex}}{L_0} (V_{ex} - V_f)$ から得られる。

例えば、 $V_p = 467 \quad \text{V}$ である。

全時間は：

$$T_f(V) = \frac{L_f}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V}} + \frac{2}{E_{ref}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V} + \frac{L_0}{(V_{ex} - V_f)} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot \sqrt{V - V_f} \dots$$

$$+ \frac{L_f}{V_f} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{e}} \cdot (\sqrt{V} - \sqrt{V - V_f})$$

によって与えられる。

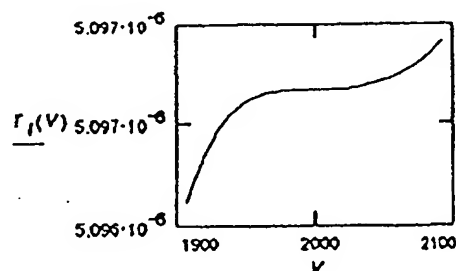
全飛行時間は、 $T_f(V) = 5.097 \cdot 10^{-6}$ である。

$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}}$ であるので、有効行路長は、 $T_f(V) \cdot v = 0.598$
によって与えられる。

points = 50

$$V_{min} = V_{ex} - (V_{ex} - V_f) \cdot \frac{.001}{L_0} \quad V_{max} = V_{ex} + (V_{ex} - V_f) \cdot \frac{.001}{L_0}$$

$$V_{step} = \frac{V_{max} - V_{min}}{\text{points}} \quad V = V_{min} + (V_{min} + V_{step}) \dots V_{max}$$

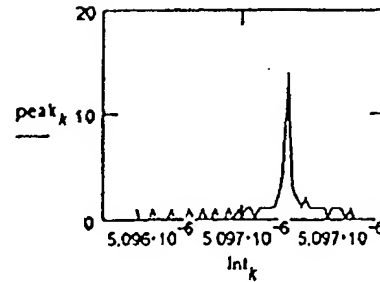


$j := 1, 2 \dots points + 1 \quad k := 1, 2 \dots points$

$t_j := T_1(V_{min} + V_{step} \cdot (j - 1))$ 擬似ピークの基礎となる時間値の集合
エネルギーレンジにわたって偶数分布であると
仮定する

$$int_j := T_1(V_{min}) + (j - 1) \cdot \frac{T_1(V_{max}) - T_1(V_{min})}{points}$$

$peak := hist(int, t)$



方法 1 によって計算された解析力

$$t_{res} := \frac{1}{2.35} \cdot \frac{mean(t)}{sdev(t)} \quad \text{質量解析力} : m_{res} := \frac{t_{res}}{2} \quad m_{res} = 6697.881$$

方法 2 によって計算された解析力

$$\text{ハーフピークの高さ} : h := \frac{max(peak)}{2} \quad k := 1, 2 \dots points - 1$$

$$V_k := until[-((peak_k \leq h) \cdot (peak_{k+1} \geq h)), k] \quad n := last(V) \quad n = 34$$

$$T_{low} := if[peak_n \neq peak_{n+1}, int_n + (int_{n+1} - int_n) \cdot \frac{h - peak_n}{peak_{n+1} - peak_n}, int_n]$$

$$T_{low} = 5.097 \cdot 10^{-6}$$

$$V_k := until[-((peak_k \geq h) \cdot (peak_{k+1} \leq h)), k] \quad n := last(V) \quad n = 35$$

$$T_{high} := if[peak_n \neq peak_{n+1}, int_n + (int_{n+1} - int_n) \cdot \frac{h - peak_n}{peak_{n+1} - peak_n}, int_n]$$

$$T_{high} = 5.097 \cdot 10^{-6}$$

$$T_{res} := \frac{T_{high}}{T_{high} - T_{low}} \quad M_{res} := \frac{T_{res}}{2} \quad M_{res} = 1.187 \cdot 10^5$$

[Translation done.]

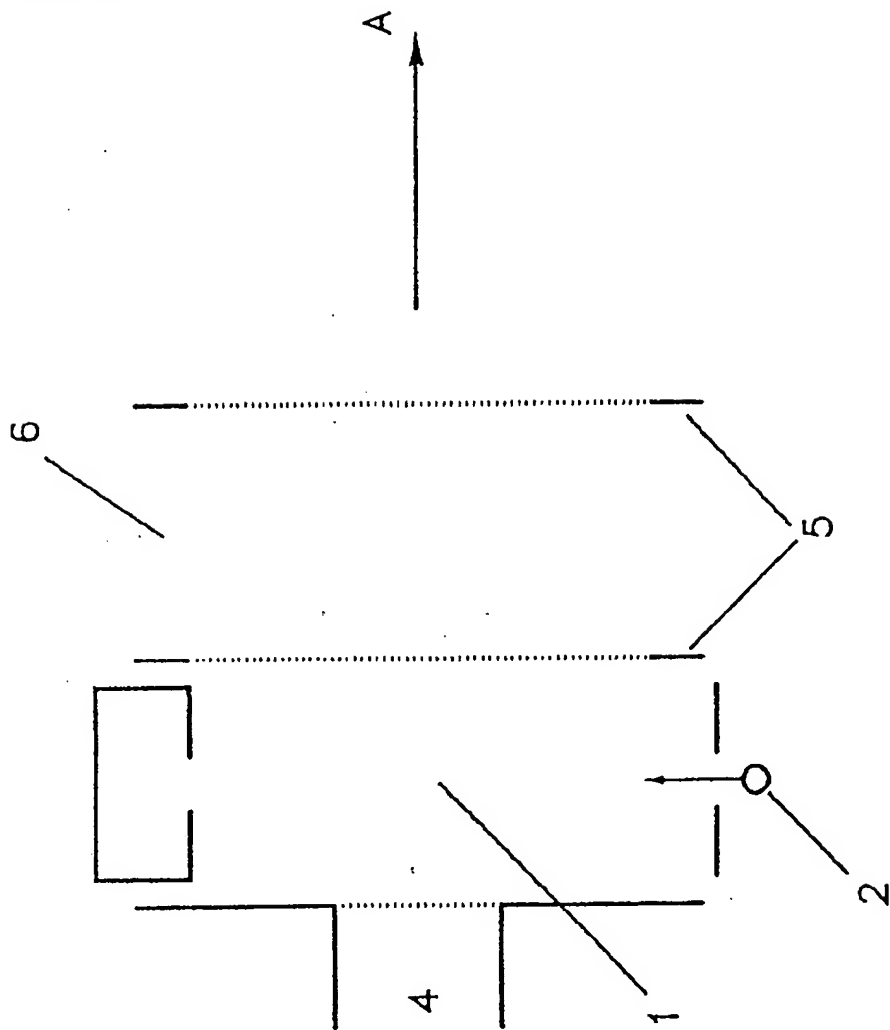
*** NOTICES ***

**JPO and NCIPI are not responsible for any
damages caused by the use of this translation.**

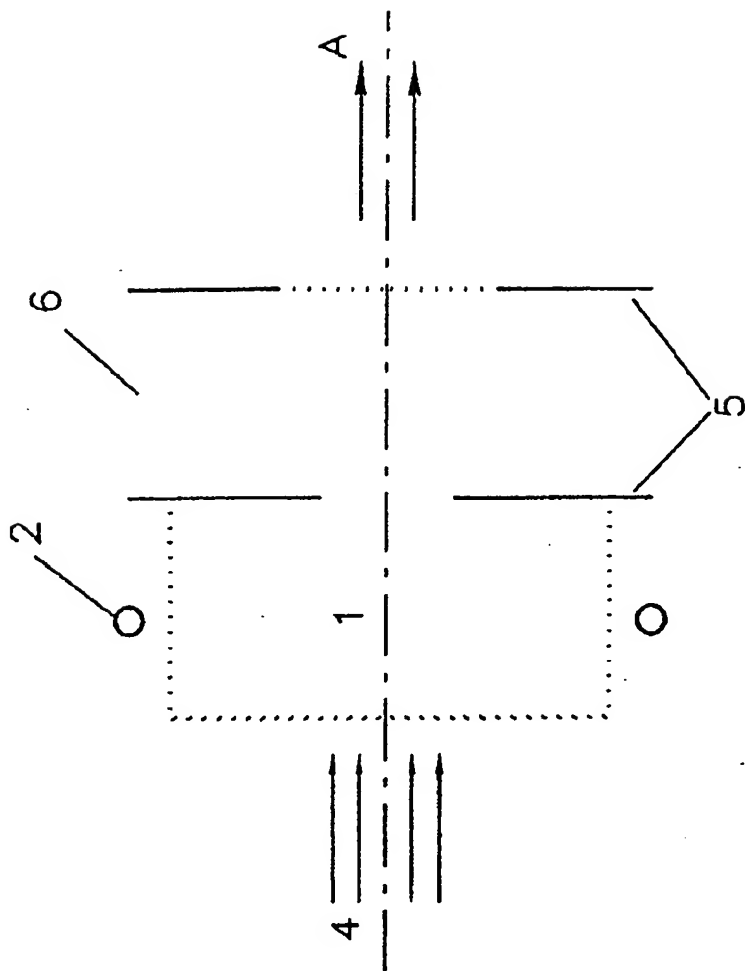
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

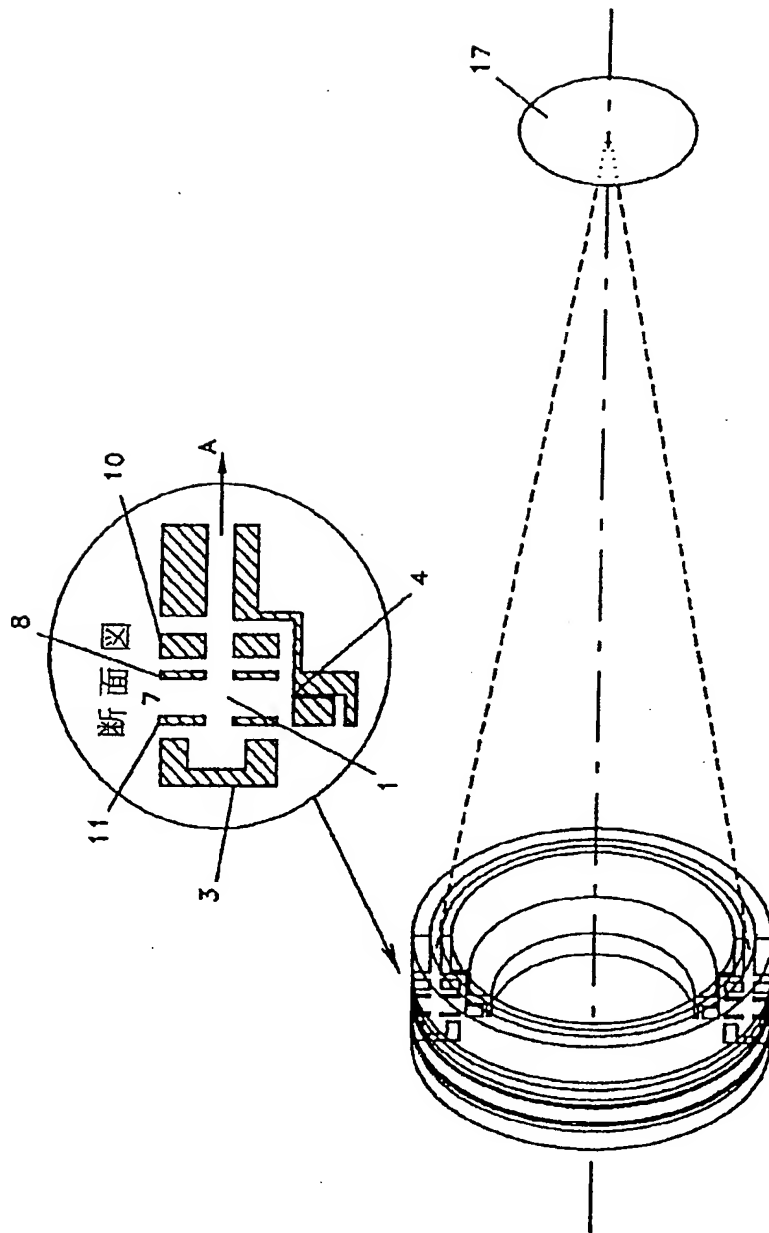
[Drawing 1]



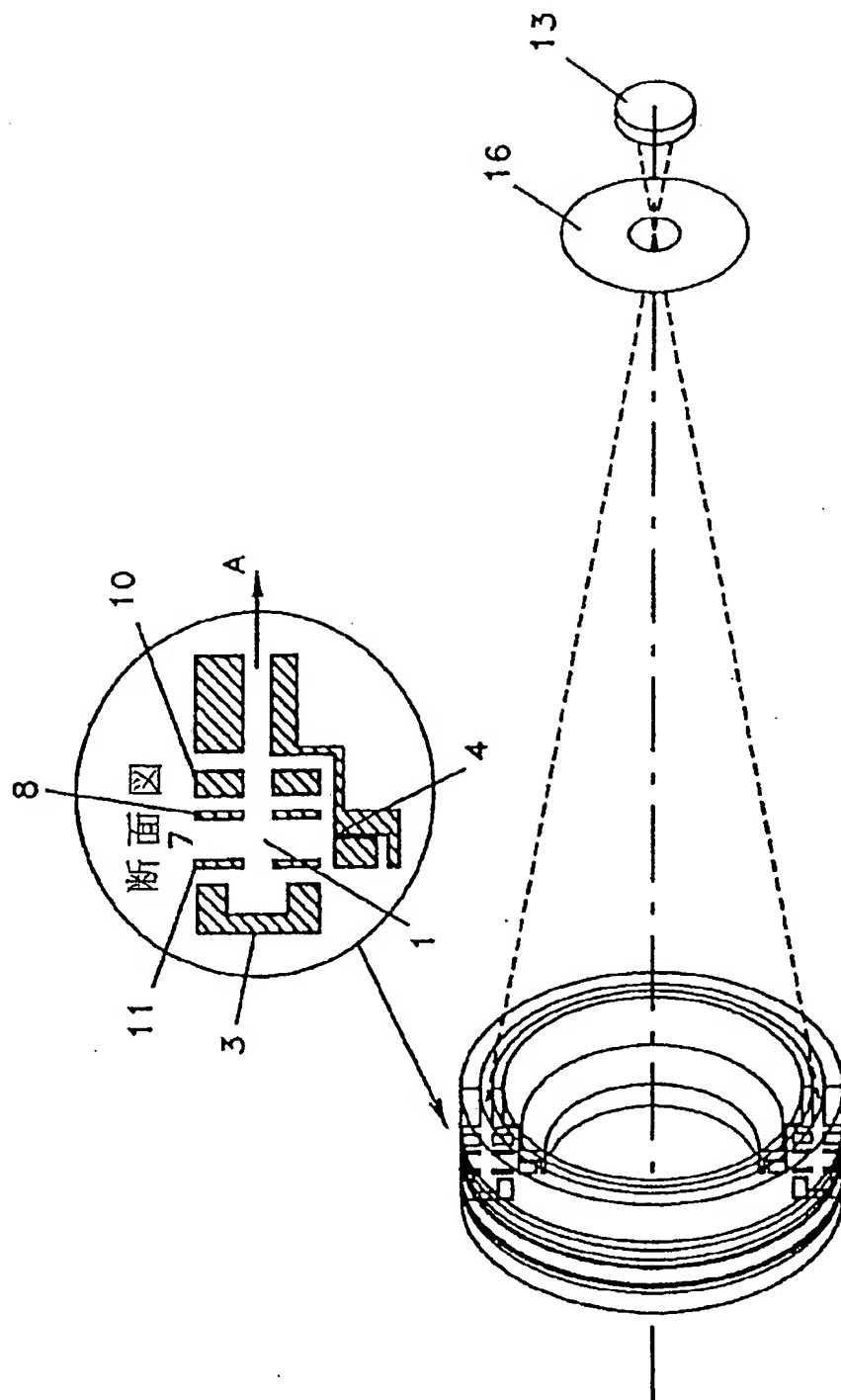
[Drawing 2]



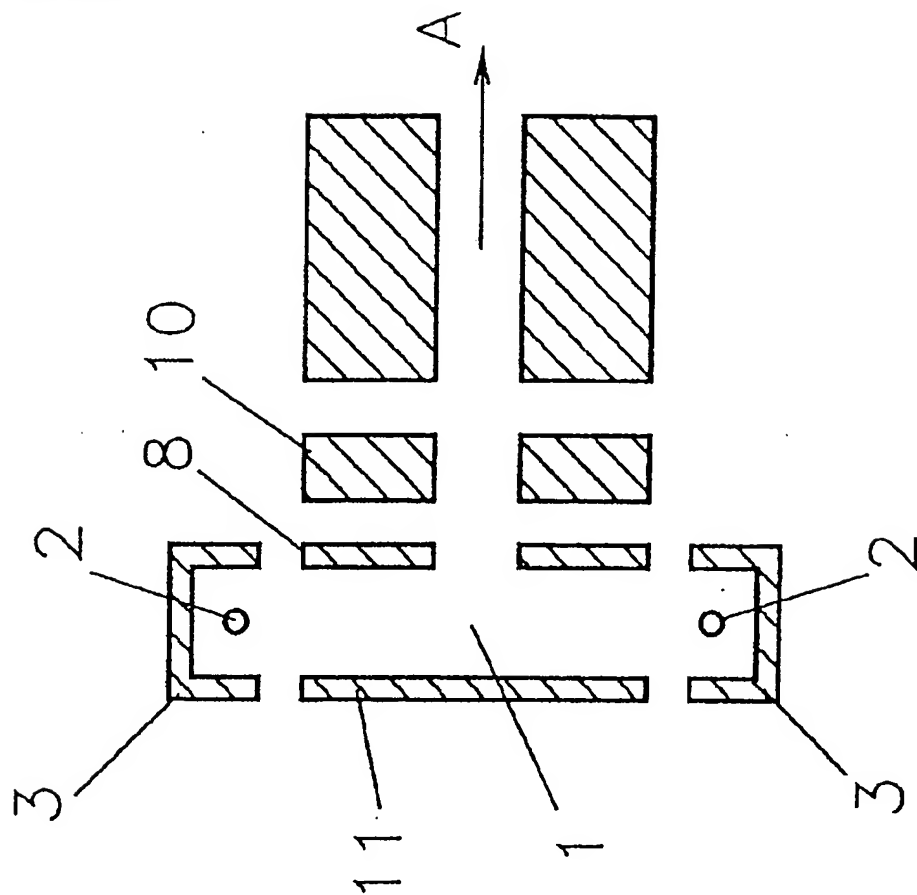
[Drawing 4]



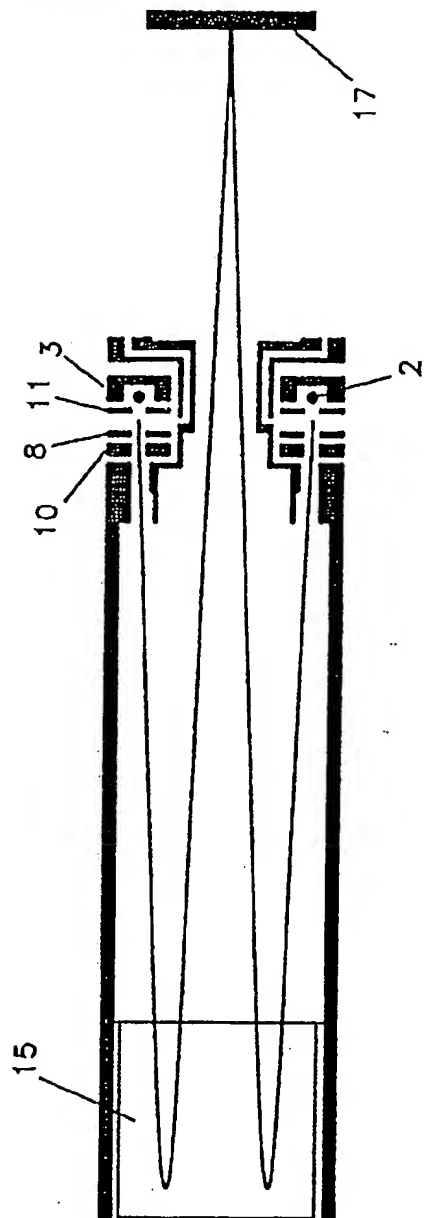
[Drawing 4 A]



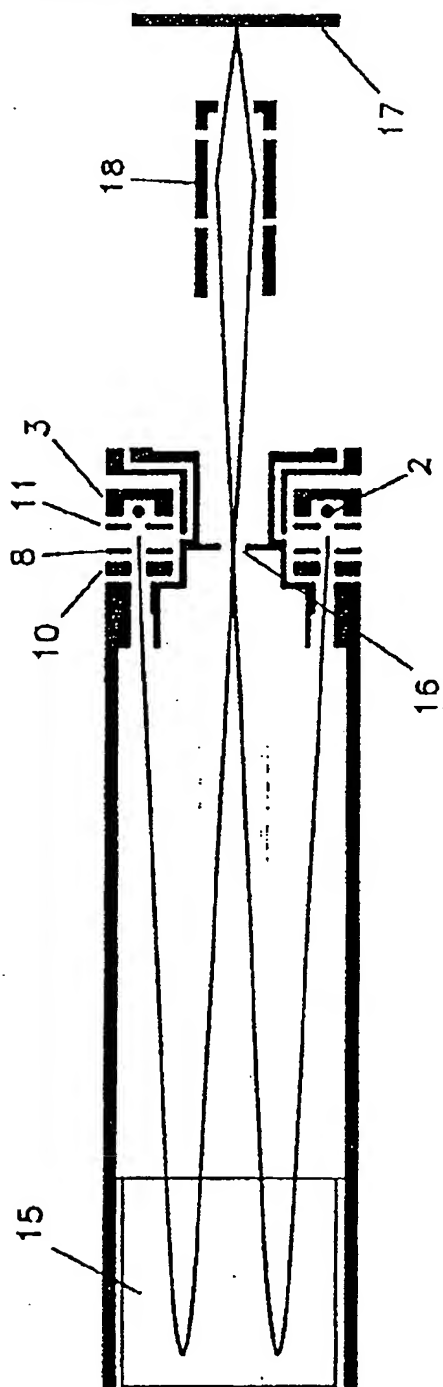
[Drawing 5]



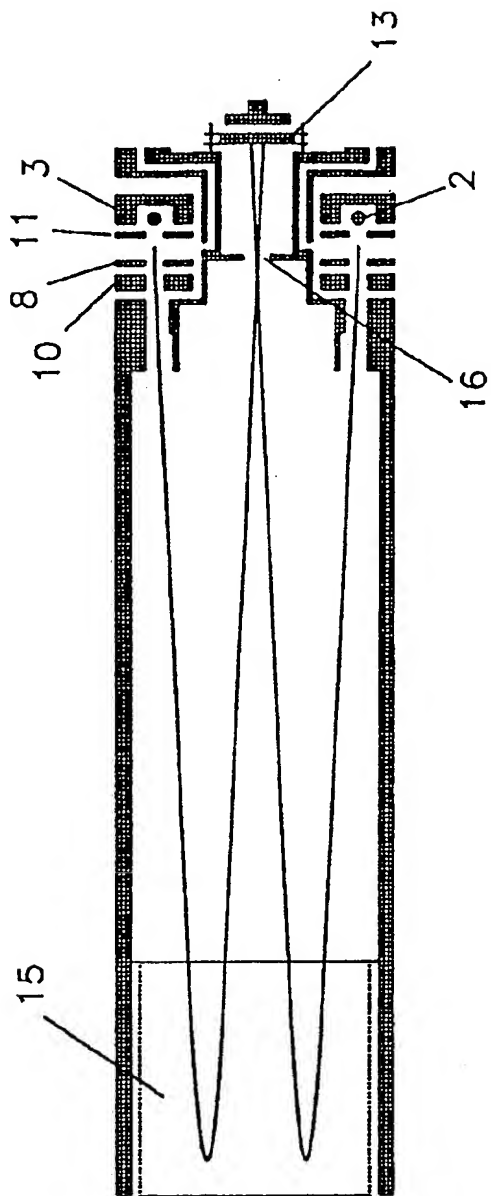
[Drawing 6]



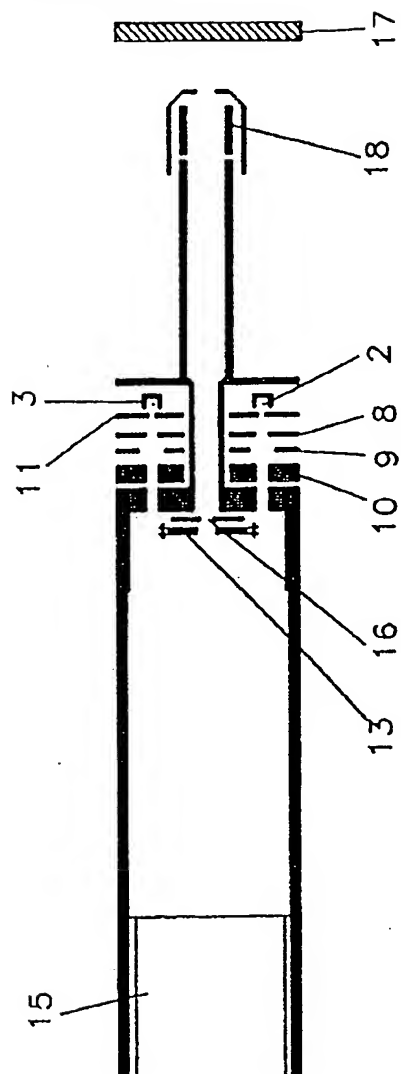
[Drawing 6 A]



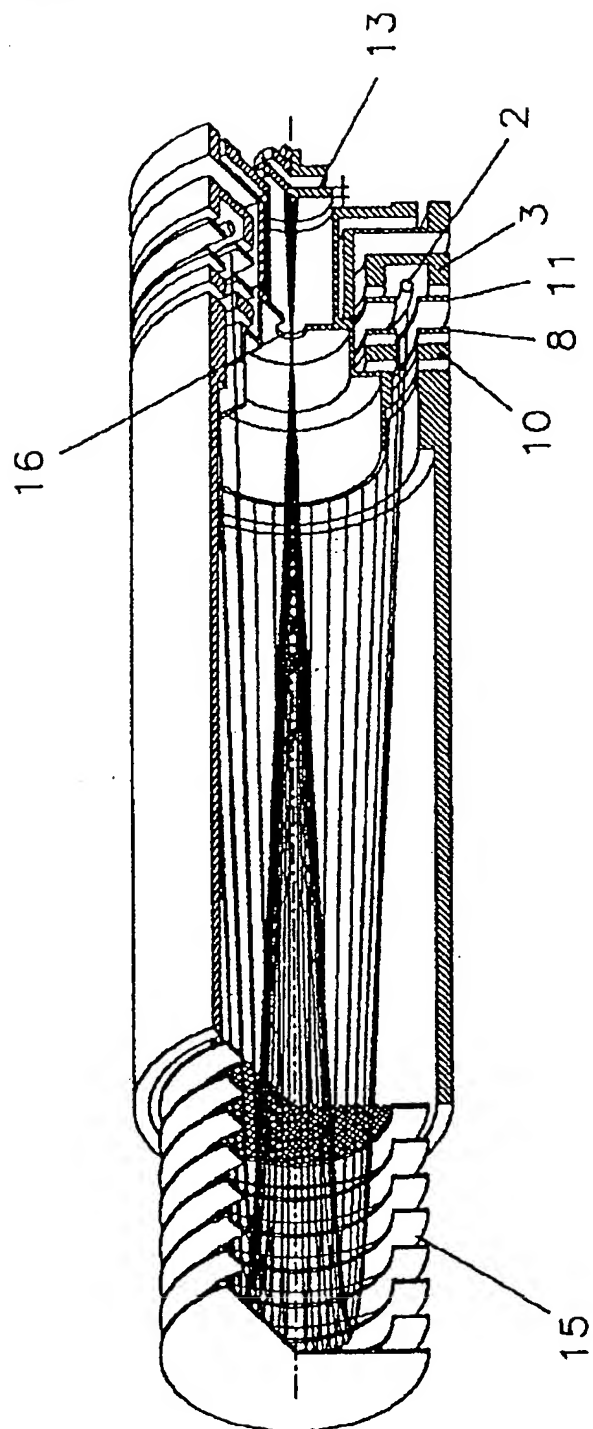
[Drawing 6 B]



[Drawing 6 C]

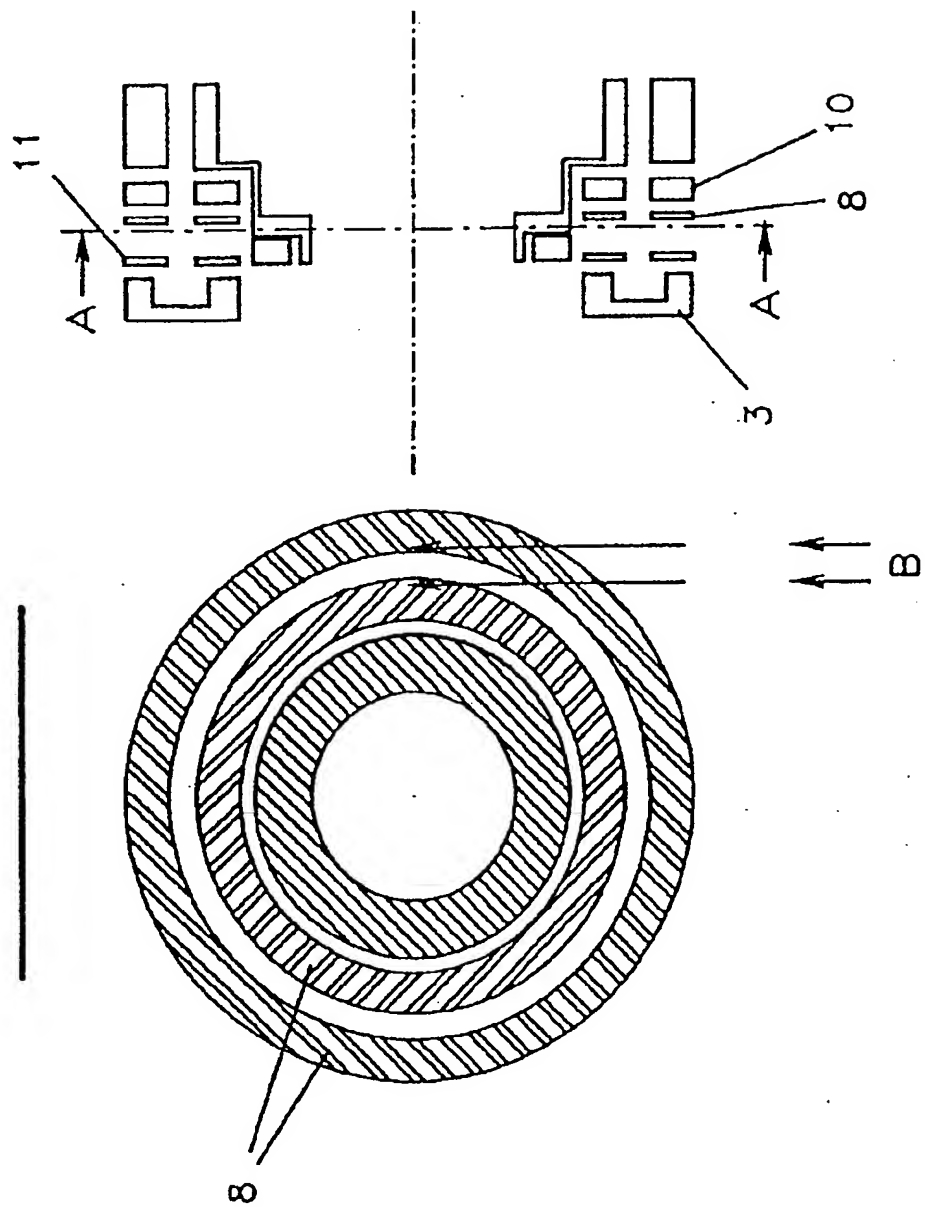


[Drawing 7]

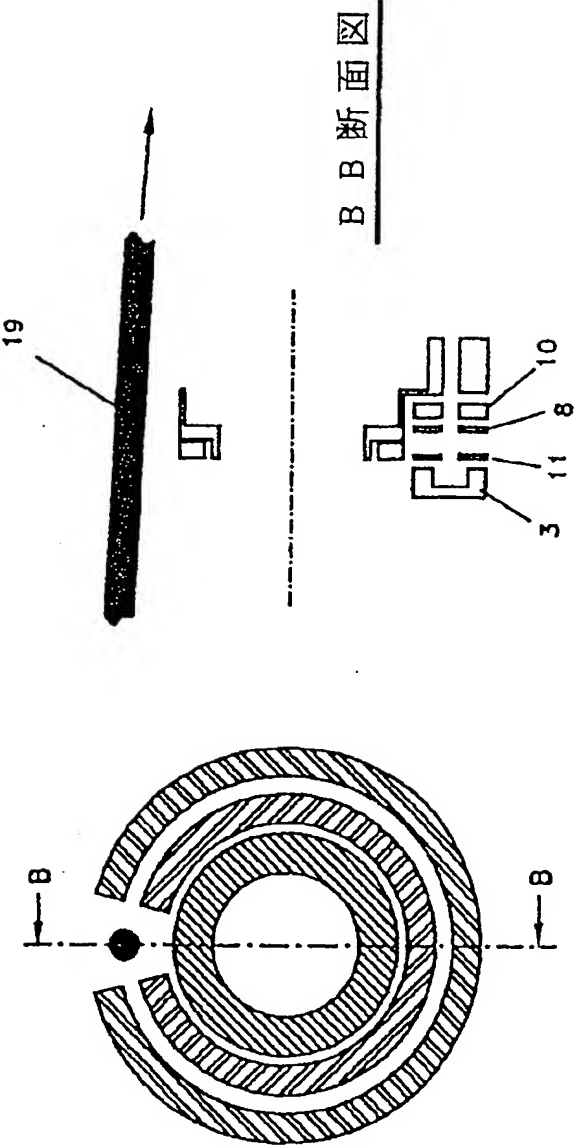


[Drawing 8]

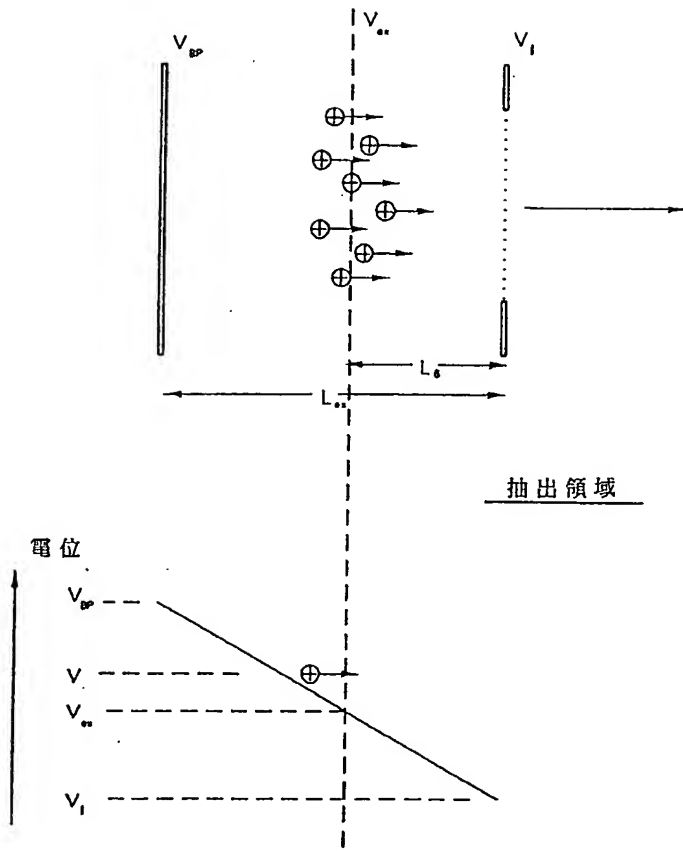
A A 断面图



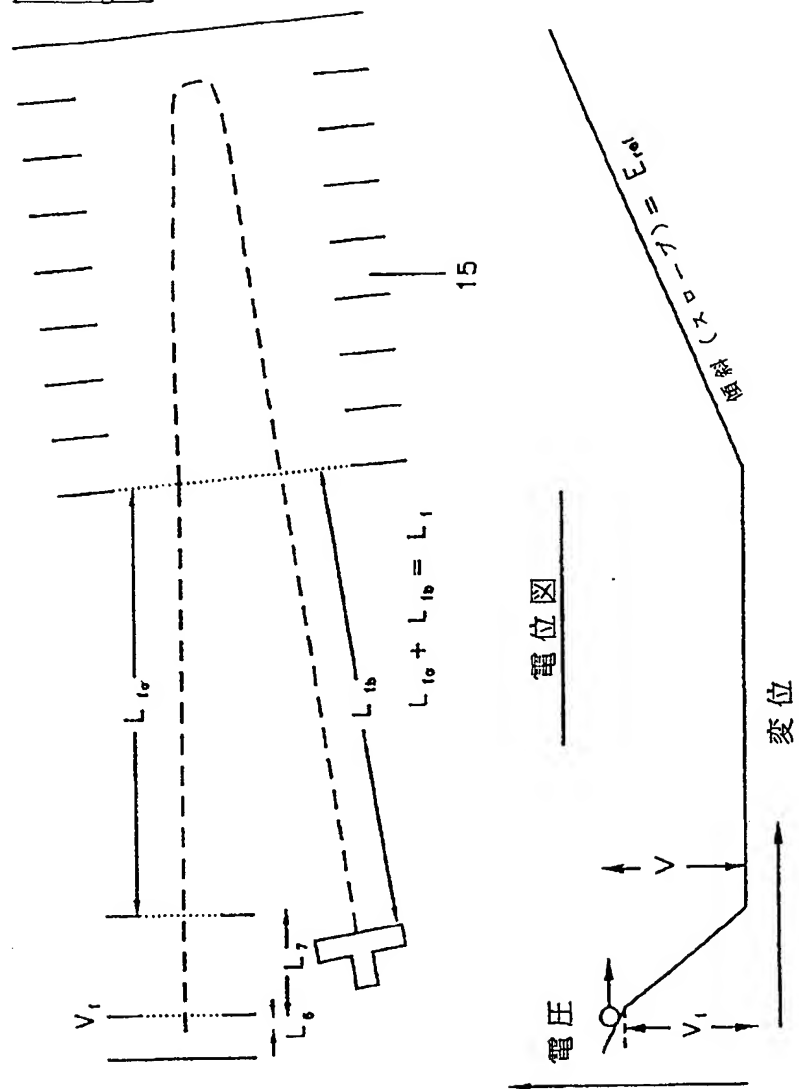
[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Drawing 11]



[Translation done.]